

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATIK CAM TOZU K-DEĞERLERİNİN BETONUN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

LEVENT YALÇIN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

GEBZE
2021

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATIK CAM TOZU K-DEĞERLERİNİN
BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİ

LEVENT YALÇIN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMANI
DOÇ. DR. TAYFUN ALTUĞ SÖYLEV

GEBZE
2021

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**THE EFFECT OF WASTE GLASS POWDER
K-VALUES ON THE MECHANICAL
PROPERTIES OF CONCRETE**

LEVENT YALÇIN
A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
EARTHQUAKE AND STRUCTURAL ENGINEERING PROGRAM

THESIS SUPERVISOR
ASSOC. PROF. DR. TAYFUN ALTUĞ SÖYLEV

GEBZE
2021



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 25/12/2020 tarih ve 2020/60 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 05/01/2021 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Levent YALÇIN'ın tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Deprem ve Yapı Mühendisliği Programında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. T. Altuğ SÖYLEV

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi İsmail KILIÇ

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi A. Can ZÜLFİKAR

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Atık cam tozu zengin silika içeriğiyle puzolanik malzeme olarak iyi bir potansiyele sahiptir. Bu tez çalışması atık cam tozunun çimento ikamesi olarak kullanılabilmesi için sistematik bir inceleme önermektedir.

Uçucu kül, cüruf gibi puzolanik malzemeler bu şekilde uzun yıllardır betonda kullanılmaktadır. Çimento üretiminin azaltılmasını sağlayarak ekonomik ve çevresel avantaj sağlamaktadırlar. Bunun yanında, betonun bazı özelliklerine de olumlu katkı sağlarlar. Kullanımı daha az olan ve etkileri çok incelenmemiş cam tozu gibi diğer malzemelerin, betonda mineral katkı olarak kullanılmaları birçok avantaj sağlayacaktır.

Ancak diğer yandan atık cam tozu yukarıda adı geçen diğer puzolanlar kadar çok incelenmemiştir ve dolayısıyla standartlara da girmiş durumda değildir. Standartlarda bu konu ile ilgili bir takım düzenlemeler yapılmış ve yapı malzemesi sektöründeki beton üretiminde hali hazırda kullanılmakta olan silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi puzolanik malzemeler için kıstaslar oluşturulmuştur.

Bu anlamda önce k-değerinin belirlenmesine yönelik beton numuneler oluşturulmuş ardından seçilen k-değeri ve atık cam tozu oranına göre deneyler yapılmıştır. Kuru agrega deneyleri olarak iri agrega yoğunluk deneyleri ve su emme oranı tayini deneyleri, taze beton deneyleri olarak da taze beton birim hacim ağırlığı ölçümleri ve slump deneyleri yapılmıştır. Sertleşmiş beton deneyleri (schmidt çekici okuma, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve eğilme dayanımı) 3 farklı s/ç oranı (0.45, 0.55 ve 0.65) ve 3 farklı cam tozu ikame oranlarını (%10, %15 ve %20) baz alınarak yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Atık Cam Tozu, Bağlayıcılık Etkinliği, K-Değeri, Mekanik Özellikler.

SUMMARY

Waste glass powder has a good potential as a pozzolanic material with its rich silica content. This thesis study proposes a systematic review for the use of waste glass powder as a cement replacement.

Pozzolanic materials such as fly ash and slag have been used in concrete for many years in this way. They provide economic and environmental advantages by reducing cement production. In addition, they contribute positively to some properties of concrete. The use of other materials such as glass powder, which has less usage and whose effects have not been studied much, as mineral additives in concrete will provide many advantages.

However, on the other hand, waste glass powder has not been studied as much as the other pozzolans mentioned above and therefore it is not within the standards. A number of regulations have been made in the standards regarding this issue and criteria have been established for pozzolanic materials such as silica fume, fly ash and blast furnace slag, which are currently used in concrete production in the building material sector.

In this sense, first concrete samples were created to determine the k-value, and then experiments were made according to the selected k-value and the waste glass powder ratio. Coarse aggregate density tests and water absorption rate determination tests as dry aggregate tests, and fresh concrete unit volume weight measurements and slump tests were performed as fresh concrete tests. Hardened concrete experiments (Schmidt hammer reading, compressive strength, split tensile strength and flexural strength) were performed based on three different substitution ratios (%10, %15 and %20) and three different water-cement ratios (0.45, 0.55 and 0.65).

Key Words: Waste Glass Powder, Binding Efficiency, K-Value, Mechanical Properties.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimde ve tez çalışmalarımda bana sonsuz destek veren, akademik hayatımda yardımlarını esirgemeyip bilgisi ile bu çalışmanın GTÜ BAP 2018 A 105 63 Projesi kapsamında oluşmasının yolunu açan değerli hocam Doç. Dr. Tayfun Altuğ SÖYLEV'e,

Bütün tez çalışmalarım boyunca yanımda olan, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan Arş. Gör. Muhammet Asan'a,

Laboratuvar çalışmalarım sırasında yardımlarını eksik etmeyen değerli arkadaşım Beyza Akgün'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLolar DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	1
2. CAMLAR	4
2.1. Camın Tanımı	4
2.2. Camın Yapısı ve Özellikleri	4
2.2.1. Camın Fiziksel Yapısı ve Özellikleri	5
2.2.2. Camın Kimyasal Yapısı ve Özellikleri	5
2.2.3. Camın Mekanik Yapısı ve Özellikleri	6
2.3. Cam Tipleri	6
2.4. Cam Üretimi ve Kullanılan Hammaddeler	7
3. KATI ATIKLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	9
3.1. Katı Atıkların Sınıflandırılması	9
3.2. Katı Atık Yönetimi	9
3.3. Beton Endüstrisi ve Geri Kazanım	10
3.4. Cam Atıkları Geri Kazanmanın Gerekliliği	10
3.5. Cam Atıklarının Betonda Değerlendirilmesi	11
4. ÇİMENTO VE BETON	13
4.1. Çimento	13
4.2. Beton	13
4.3. Beton Karışım Suyu	14
4.4. Agregası	15
4.4.1. Agregası – Su Bağıntısı	16

4.4.2. Agreganın Elek Analizi	16
4.4.3. Agrega – Çimento Aderansı	17
5. ÇİMENTO VE BETONDA MİNERAL KATKILAR	19
5.1. Doğal Pozolanlar	19
5.2. Uçucu Küller	20
5.2.1. Genel Tanımlama	20
5.2.2. Mineralojik Bileşenler	21
5.2.3. Kimyasal Bileşenler	22
5.3. Yüksek Fırın Cürufu	22
5.4. Silis Dumanı	22
5.5. Diğer Mineral Katkılar	23
5.5.1. Kalsine Killi Toprak	23
5.5.2. Atık Cam	23
5.6. Mineral Katkıların Çeşitli Etkileri	24
5.6.1. Hidratasyona Etkisi	24
5.6.2. İşlenebilirliğe Etkisi	25
5.6.3. Sertleşmiş Betona Etkisi	26
5.6.4. Dayanıma Etkisi	26
5.7. Özel Betonlarda Pozolanik Malzeme Kullanımı	27
6. DENEYSEL ÇALIŞMA	30
6.1. Kullanılan Malzemeler	30
6.2. Çalışma Programı ve Yöntemi	35
6.2.1. Deney ve Ölçümlerde Kullanılan Standartlar	36
6.2.2. Karışım Çeşitleri ve Notasyonlar	37
6.2.3. Taze Beton Hazırlanışı ve Karışım Oranları	39
6.2.4. Beton Numunelerin Şekillendirilmesi	40
6.2.5. Betonun Saklanması	41
6.3. Uygulanan Deneyler ve Analizler	43
6.3.1. Gradasyon Eğrilerinin Belirlenmesi	43
6.3.2. Taze Beton Deneyleri	44
6.3.3. Sertleşmiş Beton Deneyleri	46
6.3.3.1. Tahribatlı Yöntemlerle Basınç ve Çekme Dayanımı	46
6.3.3.1.1. Kullanılan Deney Makinası	46
6.3.3.1.2. Beton Dayanım Testleri	47

6.3.3.1.3. Beton Basınç Dayanımının Belirlenmesi	47
6.3.3.1.4. Betonun Eğilmede Çekme Dayanımının Belirlenmesi	49
6.3.3.1.5. Betonun Yarmada Çekme Dayanımının Belirlenmesi	51
6.3.3.2. Tahribatsız Yöntemlerle Basınç Dayanımı Deneyleri	53
6.4. K-Değerinin Hesaplanması	55
6.5. Seçilen K-Değeri ve Cam Tozu – Çimento Oranına Göre Beton	56
7. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	58
7.1. Taze Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	58
7.2. Basınç Dayanımı Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi	59
7.3. Yarmada Çekme Dayanımı Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi	61
7.4. Eğilme Dayanımı Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi	62
7.5. Schmidt Çekici Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi	63
8. SONUÇ ve ÖNERİLER	65
 KAYNAKLAR	 67
ÖZGEÇMİŞ	70
EKLER	71

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u> <u>Kisaltmalar</u>	<u>Açıklamalar</u>
A_c	: Deney yükü, uygulama yönüne dik deney numunesi kesit ortalama alanı (mm ²)
ϕ	: Cam tozu katkılı betonda çimento miktarı
CT	: Cam tozu
ϕ	: Kontrol betonunda (%0 cam tozlu) çimento miktarı
F_{max}	: Kırılma anındaki maksimum yük (kN)
f_c	: Beton deney numunesi basınç dayanımı (N/mm ²)
f_{ct}	: Beton deney numunesi eğilmede çekme dayanımı (N/mm ²)
g	: Cam tozu miktarı
g/ϕ	: Cam tozu – çimento oranı
GPa	: Gigapaskal
KD1	: Birinci kür durumu
KD2	: İkinci kür durumu
KT1	: Kırmataş 1
KT2	: Kırmataş 2
L	: Yükleme tablası mesnetleri arasındaki serbest açıklık (mm)
N	: Numune
N1	: Birinci numune
N2	: İkinci numune
N3	: Üçüncü numune
s/b	: Su, bağlayıcı oranı
s/ ϕ	: Su, çimento oranı
ω_o	: Cam tozu içeren betonunda su, çimento oranı
W_g	: Cam tozu içeren betonun su içeriği
BHA	: Birim hacim ağırlığı
CEM	: Çimento çeşitleri
CEN	: Avrupa Standartlar Komitesi
CSH	: Kalsiyum silikat hidrat
EN	: European norm

ÖİK	:	Özel İhtisas Komisyonu
TS	:	Türk Standartları
UK	:	Uçucu kül

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
4.1: İri agrega.	15
5.1: İki farklı çimento durumu için kireç miktarının zamana bağlı değişimi.	27
6.1: a) 1 numaralı kırmataş, b) 2 numaralı kırmataş.	31
6.2: a) Kırmataş 1 için birinci grup tartım sonuçları, b) Kırmataş 1 için ikinci grup tartım sonuçları.	32
6.3: a) Kırmataş 2 için birinci grup tartım sonuçları, b) Kırmataş 2 için ikinci grup tartım sonuçları.	33
6.4: a) Kırmataş 1 tartım sonuçları, b) Kırmataş 2 tartım sonuçları.	33
6.5: Elek analizinde kullanılan elekler ve sarsma sehpası.	34
6.6: Kalıp içindeki küp numuneler.	41
6.7: Kür tankının dıştan görüntüsü.	42
6.8: Kür tankının (numuneler ile birlikte) içten görüntüsü.	43
6.9: ($D_{max}=22,4$ mm) Granülometri eğrisi.	44
6.10: Slump deneyinde kullanılan aletler.	44
6.11: Taze beton deney sonuçları örnek görseli (slump deneyi).	45
6.12: Taze beton deney sonuçları örnek görseli (taze beton birim hacim ağırlığı ölçümü).	45
6.13: a) Basınç ve yarma deneyi makinası, b) Eğilme deneyi makinası.	47
6.14: Basınç dayanımı test sonucuna ait örnek görsel.	49
6.15: Kiriş Eğilme deneyi yükleme düzeneği (orta noktadan yükleme).	49
6.16: Yarmada çekme dayanımı test düzeneği.	51
6.17: Yarmada çekme dayanımı test sonucuna ait örnek görsel.	52
6.18: Yarmada çekme dayanımı test düzeneği.	52
6.19: Kontrol numuneleri ile % 10 cam tozu ikameli numuneler arasındaki basınç dayanımı ilişkisi grafiği.	55
7.1: Taze beton slump değeri sonuçları.	58
7.2: Taze beton birim hacim ağırlığı deney sonuçları.	59
7.3: Basınç dayanımı test sonuçları karşılaştırmalı grafiği.	60
7.4: Basınç dayanımı test sonuçları kontrol numunesine göre farkını	60

	gösteren grafik.	
7.5:	Yarmada çekme dayanımı test sonuçları karşılaştırmalı grafiği.	61
7.6:	Yarmada çekme dayanımı test sonuçları temel alındığında, k değeri 0.2 olan numunelerin kontrol numunesine göre çekme dayanımı oranları (%).	61
7.7:	Eğilme dayanımı test sonuçları karşılaştırmalı grafiği.	62
7.8:	Eğilme dayanımı test sonuçları temel alındığında, k değeri 0.2 olan numunelerin kontrol numunesine göre çekme dayanımı oranları (%).	63
7.9:	Schmidt çekici test sonuçları karşılaştırmalı grafiği.	64

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Camlardaki oksit oranları (% ağırlıkça).	6
2.2: Bazı cam türlerinin bileşimleri.	7
2.3: 100 kg düz cam üretimi için gerekli hammadde miktarları (kg).	8
3.1: Atık camın geri dönüşümü ile elde edilen kazanımlar.	11
3.2: Çimento, atık cam tozu ve yüksek fırın cürufunun fiziksel ve kimyasal özellikleri.	12
5.1: Uçucu kül mineral oranları.	21
5.2: Farklı ikame oranları ve KD1 için hidratasyon ısısı değişimi.	25
5.3: Farklı ikame oranları ve KD2 için hidratasyon ısısı değişimi.	25
5.4: Uçucu kül ve slump ilişkisi.	26
6.1: CEM I 42.5 R kimyasal analiz sonuçları.	30
6.2: CEM I 42.5 R fiziksel analiz sonuçları.	30
6.3: CEM I 42.5 R mineralojik bileşimi.	31
6.4: İri Agrega yoğunluk ve su emme oranı tayini.	32
6.5: Elek analizi sonuçları.	34
6.6: Atık cam tozu kimyasal analizi.	35
6.7: Atık cam tozu fiziksel analizi.	35
6.8: Çalışma kapsamında hazırlanan deney numunelerinin miktarları.	38
6.9: Agrega karışım oranları ve özgül ağırlıklar.	39
6.10: Taze beton karışım oranları.	40
6.11: Taze beton karışım oranları (agregalar).	40
6.12: Gradasyon referans eğrilerinin alt sınır, üst sınır ve karışım % değerleri.	43
6.13: Taze beton birim hacim ağırlığı deney sonuçları.	46
6.14: Küp numuneler kırılma yükleri.	48
6.15: Küp numuneler basınç dayanımları.	48
6.16: Kiriş deneyi kırılma yükleri.	50
6.17: Kiriş deneyi çekme dayanımları.	50
6.18: Yarmada çekme deneyi kırılma yükleri.	51
6.19: Yarmada çekme deneyi çekme dayanımları.	52

6.20:	Su/Çimento oranı 0.45 olan betonların Schmidt Çekici okumaları.	53
6.21:	Su/Çimento oranı 0.55 olan betonların Schmidt Çekici okumaları.	54
6.22:	Su/Çimento oranı 0.65 olan betonların Schmidt Çekici okumaları.	54
6.23:	Kontrol numuneleri ile % 10 cam tozu ikameli numuneler arasındaki basınç dayanımı ilişkisi tablosu.	55
6.24:	Kontrol betonu karışım oranları.	56
6.25:	Cam tozu ikameli beton karışım oranları.	57

1. GİRİŞ

Bu çalışmada atık cam tozunun farklı ikame oranlarında ve farklı su/bağlayıcı (s/b) oranlarında hazırlanan betonlarda bağlayıcı etkinliğinin (k-değerlerinin) belirlenmesi ve betonun mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu tez çalışması GTÜ BAP 2018 A 105 63 Projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Beton üretiminde silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi puzolanik malzemeleri kullanmak istenen bir şeydir. Çünkü bu sayede beton maliyeti düşerken betonun bazı fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri artmaktadır.

Puzolanlar betonun yapı ömrü boyunca kendisinden beklenen ve dayanıklılık olarak bilinen, su emme, su geçirgenlik, korozyona karşı koruyabilme ve düşük boşluk oranı gibi bazı özelliklerine olumlu katkıda bulunmaktadır. Puzolanlar yaş betonun slump ve birim hacim ağırlığı gibi de gibi değerlerini de etkileyerek doğrudan doğruya fiziksel özelliklerini de etkilemektedir.

Bu nedenlerle, çimento ikame malzemesi olarak uçucu kül, silis dumanı ve yüksek fırın cürufu gibi bazı puzolanik malzemeler mineral katkı olarak kullanılmaktadır ve TS EN 206'da tanımlanmıştır. Bu tipik mineral katkıların çimento ikame malzemesi olarak kullanımında bazı sınırlamalar uygulamaktadır ve bunlar ile ilgili çimento ikame oranları için betonda etkinlik katsayısı olan k-değerleri verilmiştir. Bu sınırlamalar, belli ikame oranı ve çimento tipi için verilen bağlayıcı etkinlik faktörü (k-değeri) ile ilgilidir. Örnek olarak, uçucu kül için, %25 ikame oranında CEM I çimento ile k-değeri maksimum 0,4 olarak alınabilir. Tip II mineral katkıların ortak özelliği, aktif silika içeriği yüksek ve tane boyları çimentoya yakın veya daha küçük malzemeler olmalarıdır. Böylelikle, çimentonun hidrasyon tepkimesi sonucunda ortaya çıkan kireçle bünyelerindeki silika birleşip bağlayıcı madde oluşturur.

Birçok puzolanik malzeme vardır ve bütün puzolanik malzemeler değişik oranlarda silis içermektedir. Aynı zamanda bu puzolanik malzemeler betonda birtakım kimyasal reaksiyonlara girmektedir. Standartlarda verilen tipik puzolanik malzemelerin dışında benzer özelliklerde birçok malzeme bulunmaktadır. Bu

malzemeler genelde cam tozu gibi atık malzemelerdir. Cam tozu da yüksek oranda silis esaslı bir malzemedir ve beton üretimi esnasında diğer puzolanlar gibi benzer reaksiyonlara girmektedir. Dolayısıyla cam tozunun da puzolanik özellikler gösterdiği söylenebilir. Bu puzolanların kendi aralarında bağlayıcılık güçlerinin farklı olması gibi cam tozunun da bağlayıcılık gücü ve özelliği farklıdır.

Bu noktada cam tozu için bu bağlayıcılık güçleri ve özelliklerinin belirlenip belirlenmeyeceği; önemli bir katı atık hacmi oluşturan kırık camların öğütülerek cam tozu haline getirilerek puzolanik malzemelere alternatif olarak kullanılması mümkün olup olmadığı soruları akıllara gelmektedir.

Ayrıca çimento üretiminin çevreye zararlı olduğunu söylemek yanlış olmaz çünkü üretim esnasında CO₂ çıkmaktadır. Çevreci bir bakış açısıyla çimento yerine ikame edilecek geri dönüşümlü malzemeler sayesinde CO₂ salınımını da azaltmak mümkün olabilir.

Cam tozu aslında kıymetli ve zaten başka yollarla geri dönüşümü yapılabilen bir malzeme olduğu için bunu betonda kullanmanın verimli olup olmadığı sorusu da akıllara gelebilir. Kısaca özetleyerek cevaplandırmak gerekirse; Cam tozunu tekrar cama geri dönüştürme işlemi yüksek depolama alanlarına ihtiyaç duyulduğu, fiziksel ayrıştırma ve enerji harcayarak ergitme gerektirdiği için masraflı bir işlemdir. Camı cam olarak geri dönüştürmek çok pratik bir çalışma olmadığı için gelişmiş ülkelerde bu işlem yapılabilirken az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin çoğu bölgesinde yapılamamaktadır. Oysaki atık camı toz haline getirmek daha az zahmetlidir ve küçük atölyelerde bile yapılabilir.

Zengin silika içeriğine sahip olan atık cam tozu da puzolanik malzeme olarak iyi bir potansiyele sahiptir. Bu tez çalışması atık cam tozunun çimento ikamesi olarak kullanılabilmesi için sistematik bir inceleme önermektedir. Atık cam tozu ikamesiyle belirlenen k-değeri değişimi ile dizayn edilen beton karışımlarının mekanik özellikleri test edilmiştir. Bu amaçla küp, silindir ve kırış numuneler hazırlanmış; tahribatlı ve tahribatsız test yöntemleri ile yaş ve sertleşmiş betonda; slump, yüzey sertliği, basınç, yarma ve eğilme deneyleri yapılmıştır. Cam tozunun betonda kullanılabilmesi için kullanımıyla ilgili sınır değerlerin belirlenmesi gerekir. Buna göre yürürlükteki bir standart olan ve k-değeri kavramı ve eşdeğer beton performansı kavramı kullanımı ile ilgili kurallar içeren CEN/TR 16639 teknik raporunda verilen yöntemlerle k-değeri belirlenmiştir. Bir çimento tipi (CEM I 42.5 R) ile bir ikame oranında k-değerleriyle ve üç farklı su/çimento oranında ($s/\ç = 0.45, 0.55$ ve 0.65) beton karışımları

hazırlanmıştır. Cam tozu içeren ve içermeyen betonların basınç dayanımı - s/b oranı bağıntısı elde edilecek ve dayanımlar eşitlenerek k-değerleri hesaplanmıştır. Böylece standartta verilen sınırlamalar içinde k-değerinin değişimi belirlenmiştir.

Hazırlanan betonların 28 günlük basınç, yarmada çekme, eğilme ve beton çekici değerleri belirlenmiş ve cam tozu içermeyen betonun değerleriyle karşılaştırılmıştır. Böylece belirlenen k-değerlerinin ne oranda isabetli olduğu anlaşılmış ve performansa dayalı bir değerlendirme yapılmıştır. Çalışma, atık cam tozunun çimento ikamesi olarak sınırlarını, standartta verilen ölçütlere göre ortaya koymuştur. Göreceli olarak yeni bir malzemenin kullanım potansiyelinin sağlam bir metodolojiyle incelenmesi beton uygulaması için önemli bir katkıdır.

Bu çalışma, atık cam tozunun betonda kullanımının sınırlarını ortaya koymayı hedeflediğinden, sonuçlar mühendislik uygulamaları için değer taşımaktadır. Atık bir malzemenin değerlendirilmesinin yanı sıra, bu malzemenin standarda uygun olarak kullanılmasını sağlayacağı için araştırma alanına önemli bir katkı sağlayabilecektir.

2. CAMLAR

2.1. Camın Tanımı

Madde sıvı haldeyken düzensiz bir yapıya sahiptir, bu düzensiz yapısını koruyarak katılaştan maddeler cam olarak bilinir [Onaran, 2006].

Cam amorf katıdır. Amorf yapıdaki malzemelerin moleküler yapıları düzensizdir ve belirli bir donma ve erime sıcaklıkları yoktur. Isı verildikçe belirsiz bir sıcaklıkta yumuşayarak erimeye başlar ve erime işlemini sınırlayan bir üst sıcaklıkta mevcut değildir. Genellikle saydam veya yarısaydam yapıda olur. Üretimi esnasında soğurken katıların genelinde olduğu gibi kristal bir yapıya bürünmez ve amorf olduğu için de kırılğan bir yapıya sahiptir [Doremus, 1994].

Camlar genellikle inorganik (organik olmayan) dolayısıyla doğada canlı olarak bulunmayan ve üretilen bileşiklerdir. En az bir tane oksijen atomu ve buna ilaveten bir başka elementin atomunu bulunduran bileşiklere oksit denir ve camlar oksitlerin eritilmiş kompozisyonudur.

Cam fırınlarında çok sayıda kimyasal reaksiyon olur. Bu reaksiyonlarda çok miktarda enerji transferi olur. Bu nedenle cam fırınları birer kimyasal reaktör gibi çalışmaktadırlar. Oluştan bu kimyasal reaksiyonlarda hatırı sayılır büyüklüklerde enerji tüketilir [Kocabağ, 2000].

Aslında çok değerli bir geri dönüşüm malzemesi olan cam, geri dönüştürölürken cam fırınlarında ergitilerek yeniden kazandırılması sırasında çok fazla miktarda enerji kullanılmaktadır. Daha az enerji harcayarak ve daha az ilk yatırım maliyetli geri dönüştürölme yollarının bulunması daha verimli olacaktır.

2.2. Camın Yapısı ve Özellikleri

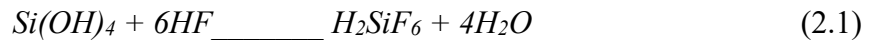
2.2.1. Camın Fiziksel Yapısı ve Özellikleri

Camların yoğunlukları $2,20 \text{ g/cm}^3$ ile $8,00 \text{ g/cm}^3$ arasında değışkenlik göstermektedir. Bunun nedeni camın kullanım amacı doğrultusunda camdan istenen teknik özellikleri sağlamak için camda kullanılan hammadde miktarlarının oranlarıdır.

Yoğunluk artırılmak istendiğinde genellikle birtakım oksitler karışıma eklenir. ZnO, BaO ve PbO oksitlerinin ilavesi yoğunluğu etkili bir şekilde artırmaktadır. Mohr sertlik cetveline göre normal bir camın sertliği 5 ile 6 arasındadır. Bu da apatit ile feldspat arasında olması anlamına gelmektedir. Bu sertlikten daha yumuşak malzemeler camı çizemez dolayısıyla cam uzun süreler boyunca saydamlığını ve parlaklığını yitirmez. Aşınma direnci de camın içeriğindeki hammaddelere bağlıdır. Aşınma direncini artıran oksitler SiO₂ ve B₂O₃ tür. Aşınma direncini düşüren oksitler ise Na₂O, CaO ve PbO dur [Günay ve Yılmaz, 2010].

2.2.2. Camın Kimyasal Yapısı ve Özellikleri

Camlar normal şartlar altında su ve nötr sıvılara karşı hassasiyet göstermez ve bunlardan etkilenmezler. Ancak yüksek sıcaklıklarda silika camları sudan etkilenir. 25°C sıcaklıkta amorf silikanın suda çözünme oranı % 0,012 olmakla birlikte bu oran sıcaklık arttıkça sıcaklıkla doğru orantılı olarak artar. Bu durumun sonucu olarak iyonize olmamış momomerik silisikasit SiOH₄ meydana gelir. Hidroflorik asit (HF) cam malzemeyi etkileyebilen bir sıvıdır. Cam malzemenin asitlere dayanımı genelde yüksektir ancak hidroflorik asit ve yüksek sıcaklıklardaki fosforik asit silika camını etkiler. Silika ile hidroflorik asit şu şekilde etkileşime girer [Günay ve Yılmaz, 2010]:



Hidroflorik asidin cam üzerindeki bu etkisi camı parlatmak ve çeşitli amaçlar için camı aşındırmak için cam sanayinde kullanılır.

Su ve nemli ortama dayanıklı cam üretmek için cama kireçtaşı veya kalker (CaO) katmak gerekir. Kireçtaşı veya kalker katılan cam ürünleri nemli ortamlara ve suya karşı dayanıklılık gösterir ve niteliklerini kaybetmeden kararlı davranış sergiler. Tablo 2.1’de farklı türdeki camlar için oksitlerin ağırlıkça yüzde oranları verilmiştir. [Günay ve Yılmaz, 2010].

Tablo 2.1: Camlardaki oksit oranları (% ağırlıkça).

Oksit	Pencere	Şişe	Lamba
SiO ₂	73	74	72
Na ₂ O	14	13	16
K ₂ O	0	0,3	1
MgO	4	0,2	4
CaO	9	11	3
Al ₂ O ₃	0,1	1,5	2
Fe ₂ O ₃	0,1	0,04	0
SO ₂	0	0,2	0

2.2.3. Camın Mekanik Yapısı ve Özellikleri

Camlar kırılğan malzemelerdir. Çekme ve basınç dayanımları arasında çok büyük farklar vardır. Camların çekme dayanımı 0.05 GPa civarındadır. Buna karşılık basınç dayanımı 1,00 GPa'a kadar çıkmaktadır. Basınç ve çekme dayanımları arasındaki oran 20 mislidir. Elastisite modülü 10 GPa-200 GPa arasındadır. Basınç ve çekme dayanımı ile elastisite modülündeki bu değişiklikler camın bileşimindeki hammadde oranları ile doğrudan ilişkilidir. Bu değerler SiO₂ miktarının artışı ile doğru orantılı olarak artar [Günay ve Yılmaz, 2010].

2.3. Cam Tipleri

Camlar genellikle oksit, oksit olmayan ve metalik olarak üç ana grupta incelenir. Adından da anlaşılacağı gibi oksit camlarda oksitler aktif olarak bulunur. Oksit camlar en çok üretilen cam türüdür. Kapı ve pencerelerde kullanılan düz camlar ve şişe camları bu gruptadır. Oksit olmayan camlar nitrat-sülfat-hidrojen içeren camlardır ve fiber-optik kablo endüstrisinde kullanılmaktadır. Metalik camlar bir kısım metal alaşımların kimyasal işlemler sonucu camsı yapıya kavuşturulması ile oluşur. Son yıllarda elektrik ve elektronik alanlarında bu cam tipi kullanılmaya başlanmıştır [Günay ve Yılmaz, 2010].

Cam türlerine göre bileşim oranları değişiklik göstermektedir. Bu Bileşim oranları Tablo 2.2'de verilmiştir [Onaran, 2006].

Tablo 2.2: Bazı cam türlerinin bileşimleri.

Bileşim	Cam Türüne Göre Bileşim Yüzdesi (%)			
	Soda - Kireç Camı	Kurşunlu Cam	Boronsilikat Camı	Silis Camı
SiO₂	70.0-75.0	53.0-68.0	73.0-82.0	96.0
Na₂O	12.0-18.0	5.0-10.0	3.0-10.0	-
CaO	5.0-14.0	-	-	-
PbO	-	15.0-40.0	0.0-10.0	-
B₂O₃	-	-	5.0-20.0	3.0
Al₂O₃	1.0-3.0	0.0-2.0	2.0-3.0	-
Özellikleri	Pencere camı	Parlak optik cam	Ateşe dayanıklı cam	Düşük ısı genleşme

2.4. Cam Üretimi ve Kullanılan Hammaddeler

Cam Üretimi harman hazırlama, ergitme ve şekil verme olarak üç aşamada gerçekleşir. Hazırlama aşamasında cam içerisinde bulunması gereken oksitleri oluşturmak için hammaddeler karıştırılır. Cam üretiminde feldispat, kalker, dolomit, soda, sodyum sülfat ve atık cam kırığı gibi malzemeler hammadde olarak kullanılır. Ergitme aşaması pota fırınları, tank fırınları veya elektrikli cam fırınları gibi üç farklı şekilde olabilir. Son olarak şekil verme aşamasında camların tavlama ve yüzey işlemleri gerçekleştirilir [Günay ve Yılmaz, 2010].

Hammadde miktarı üretim tesisine göre ve kullanılan hammaddenin fiziksel ve kimyasal yapısına göre değişmektedir. 100 kg düz cam üretiminde kullanılan hammadde miktarlarının minimum ve maksimum aralıkları Tablo 2.3’de verilmiştir [Sümer, 2007].

Tablo 2.3: 100 kg düz cam üretimi için gerekli hammadde miktarları (kg).

	Düz Cam		Cam Şişe		Dekoratif Cam	
	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.
Kum	68,00	74,00	68,00	75,00	67,00	72,00
Feldispat	-	5,00	-	6,00	0,00	7,00
Kalker	2,50	7,50	4,00	11,00	5,50	15,00
Dolomit	17,50	21,50	12,00	19,00	-	17,00
Soda	21,50	24,00	19,00	20,50	15,00	23,00
Sodyum Sülfat	1,50	3,50	1,00	2,00	-	1,00
Alüminyum Oksit	-	-	-	-	-	1,00
Potasyum Karbonat	-	-	-	-	-	13,00
Baryum Karbonat	-	-	-	-	-	5,50
Nitrat	-	-	-	-	1,00	3,00
Boraks	-	-	-	-	-	3,00
Arsenik Oksit	-	-	-	-	0,04	0,25

3. KATI ATIKLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1. Katı Atıkların Sınıflandırılması

Dünyada atık yönetimi ile ilgili birçok yasal düzenleme yapılırken buna paralel olarak ülkemizde de başta Çevre Kanunu olmak üzere, Katı Atıkların Kontrol Yönetmeliği, Büyükşehir Belediyesi Kanunu, Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, Hafriyat toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıkları Kontrolü Yönetmeliği gibi yasa ve yönetmelikler çıkarılmıştır [Dikmen vd., 2011].

Gaz, sıvı ve katı atık olmak üzere temel olarak üçe ayrılan atıklar daha detaylı olarak inşaat ve yıkıntı atıkları, ambalaj atıkları, tehlikeli atıklar, atık yağlar, atık pil ve akümülatörler, ömrünü tamamlamış lastikler, elektrikli-elektronik eşya atıkları, ömrünü tamamlamış (hurda) araçlar tehlikesiz atıklar, tıbbi atıklar ve maden atıkları olarak sınıflandırılabilir. Türkiye istatistik kurumu verilerine göre belediye atıkları kompozisyonu içinde cam atık oranı %6'dır.

Tüm atıklar içinde atıkların ağırlık olarak % 30, hacim olarak da % 50 si ambalaj atıklarıdır. Bunlar içinde kâğıt ve karton atıklardan sonra cam atıklar ikinci sırada gelmektedir. 2007 de yapılan istatistiki bir çalışmaya göre üretilen 354 bin ton cam ambalaj ürününün 134 bin tonu (yaklaşık %38'i) geri kazanılmıştır. Geri kalan 220 bin ton atık cam ise geri kazanılamamıştır [Dikmen vd., 2011].

3.2. Katı Atık Yönetimi

Ülkemizde çevre bakanlığının 2872 sayılı Çevre Kanunu kapsamında 1991 yılında yürürlüğe giren “Katı Atıkların Kontrol Yönetmeliği” ile katı atıkların geri kazanımı zorunlu duruma getirilmiştir [Gurer vd., 2004].

Yukarda adı geçen yönetmelikte geri dönüşüm ve geri kazanım şu şekilde tariflenmiştir. Geri dönüşüm, toplanan katı atığın bir oluşturma yöntemine bağlı kalınarak işlenmesini işidir. Geri kazanım ise geri dönüşüm mefhumunu da içeren; katı atığın fiziksel, kimyasal veya biyokimyasal özelliklerinden yararlanılarak içindeki bileşenlerin farklı tekniklerle değişik ürünlere dönüştürülmesi işlemidir [ResGaz, 1991].

Dünyada her yıl 2×10^{13} kg katı atık çıkmaktadır ve bu atıkların %7'si cam atıklardır. Cam malzemelerde renklendirici maddeler bulunmaktadır ve cam atıkları geri dönüştürerek yeniden cam elde edilmesi süreci ayrıştırma ve depolamalar gerektirdiği için sıkıntılı ve masraflıdır [Pekdemir ve Bayram, 2015].

Devlet İstatistik Enstitüsü'nün katı atıkların dağılımı ile ilgili 1992 yılında yaptığı bir çalışmada %45.48 ile kâğıt ve karton malzemenin ilk sırada yer aldığı ve ikinci sırada da % 18.46 ile cam malzemenin geldiği görülmektedir [ÖİK, 2000].

3.3. Beton Endüstrisi ve Geri Kazanım

Küresel ısınma dünyamızın geleceğini olumsuz yönde etkileyen bir sorundur. Atmosferde artan sera gazı küresel ısınmanın başlıca nedenleri arasındadır. Karbondioksit salınımının küresel ısınmadaki rolü % 65 mertebesinde. Çimento üretimi sırasında da atmosfere karbondioksit gazı salınmaktadır ve toplam karbondioksit salınımındaki payı %17'dir [Uzun vd., 2018].

Türkiye'de 2010 yılında 63 milyon ton olan çimento üretimi 2013 yılında 71 milyon ve 2017 yılında da 77 milyon tona çıkmıştır. Dünyada da çimento üretimi her geçen yıl artmaktadır. Çimento üretimi sırasında çok fazla miktarda karbondioksit emisyonu olmaktadır ve bu değer üretilen bir ton çimento başına yaklaşık 800 kilogramdır. 2017 yılında Türkiye'de atmosfere salınan karbondioksit miktarı yaklaşık 61.6 milyon tondur. Bu miktarı düşürmek ve karbondioksitin sera gazı etkisini azaltmak için beton karışımında kullanılan çimento miktarını azaltmak etkili bir yoldur. Bunun için de beton üretiminde bir miktar çimentoyu puzolanik bağlayıcılık etkisi gösteren değişik malzemelerle ikame etmek uzun yıllardır yapılmaktadır [Özcan ve Güngör, 2019].

3.4. Cam Atıkları Geri Kazanmanın Gerekliliği

Nüfus artışı ve endüstriyel gelişim atık depolama ve imha sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Atık depolama alanlarının kısıtlı oluşu özellikle geri dönüştürülebilen atıkların depoda fazla bekletmeden geri dönüştürmeyi zorunlu kılmaktadır. Cam kullanım alanı çok geniş bir endüstriyel malzemedir ve bu nedenle de çok ciddi miktarlarda atık cam oluşmaktadır. Atık camların

değerlendirilebilecekleri yeni alanlar yaratmak ciddi depolama sorunlarını ortadan kaldıracaktır [Uzun vd., 2018].

Tablo 3.1.'de camın geri kazanılmasının getirdiği faydalar gösterilmiştir [Savcı, vd., 2015].

Tablo 3.1: Atık camın geri dönüşümü ile elde edilen kazanımlar.

Enerji Kullanımında Azalma	25%
Hava Kirliliğinde Azalma	20%
Maden Atığında Azalma	80%
Su Kullanımında Azalma	50%
Korunan Tabii Kaynaklar	Kum, Soda, Kireç

3.5. Cam Atıklarının Betonda Değerlendirilmesi

Çimento üretimi esnasında oluşan karbondioksit emisyonları sera gazı etkisini ve buna bağlı olarak da küresel ısınmayı artırması sebebiyle çimento yerine kısmi olarak kullanılabilecek daha çevreci yapı malzemelerinin arayışı yoğunlaşmıştır.

Kirliliği önlemek adına bu malzemeler için genellikle endüstriyel atıklar tercih edilir. Beton karışımında çimento ikamesi olarak cam tozunun kullanılması da çevresel katı atıkların değerlendirilmesi hedeflenmektedir. Hali hazırda geri dönüşümde kullanılan bir malzeme olan atık camın geri dönüşüm imkânlarının genişletilmesi atık depolama maliyetlerini ve atık camın tekrar cam olarak kullanılması için gerekli tesis ve üretim maliyetlerini de düşürecektir.

Camın kimyasal, fiziksel ve mekanik yapıları incelendiğinde çimento ile benzer özellikler gösterdiği görülür. Bu sebeple çimento ikamesi olarak betonda cam tozu kullanılması durumunda ekolojik açıdan olumlu ve ekonomik açıdan da tercih edilebilecek çözümler üretmek mümkündür.

Tablo 3.2: Çimento, atık cam tozu ve yüksek fırın cürufunun fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Kimyasal Bileşim (%)	Çimento	Atık Cam Tozu	Yüksek Fırın Cürufu
CaO	62.58	9.89	40
SiO₂	20.25	71.79	35
Al₂O₃	5.31	1.04	12
Fe₂O₃	4.04	0.11	1
MgO	2.82	4.1	-
SO₃	2.73	0.23	9
K₂O	0.92	0.2	0.3
Na₂O	0.22	12.41	0.4
Kızdırma Kaybı	2.96	-	-
Özgöl Ağırlık	3.15	2.6	2.94
İncelik Modülü (m²/kg)	326	-	425

Yüksek silika oranı atık cam tozunun beton karışımında çimento ikamesi olarak kullanılabilmesine olanak vermektedir.

Çimento, cam tozu ve yüksek fırın cürufunun bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir [Öz, 2017].

Cam tozu betonda kullanıldığında, diğer mineral katkı malzemeleri gibi puzolanik özellikler göstermektedir. Cam tozu amorf bir yapıya sahiptir. Silis oranı yüksektir ve çok ince öğütülebildiği için puzolanlarda istenilen inceliği (60 ve 350 m²/kg) sağlamaktadır [Tokyay, 2018], [Öz, 2017].

Cam geri dönüşümlü bir malzemedir ancak cam fırınlarında ergitilerek tekrar cam olarak kullanılması maliyetlidir. Atık camın toz haline getirilerek betonda kullanılması çimento tüketimini ve dolayısıyla üretimine azaltacağı için çevreye olumlu katkısı olacaktır. Katı atık malzemelerin depolanması da sorun teşkil etmektedir. Cam atıklarının kullanım alanını genişletmek depolama sorunlarını da azaltacaktır ve bu yolla çevresel fayda sağlanacaktır [Öz, 2017].

4. ÇİMENTO VE BETON

4.1. Çimento

Kil ve kireçtaşının büyük tambur fırınlarda pişirilmesi ve öğütücülerde ezilerek öğütülmesi yoluyla üretilen en temel inşaat malzemesidir. İsim olarak Latince ‘caementum’ kelimesinden türetilmiştir ve genellikle gri veya beyaz renkte olur ve su ile birleştiğinde sertleşerek dayanım kazandığı için birleşime kum çakıl kırmataş gibi agregalar eklenerek beton üretiminde kullanılır.

4.2. Beton

Ana bileşenleri su, çimento ve agrega olan ve ilk karışım anından sonra belirli bir süre akışkan ve plastik özellik taşıyan daha sonra katılaşarak taşıyıcılığı zamanla artan yapay olarak üretilen bir yapı malzemesidir [Onaran, 2006].

Beton taze (yaş) ve sertleşmiş beton olarak iki fazdan oluşur. Taze beton şekil alabilen bir malzemedir. Sertleşmiş beton ise kalıp söküldükten sonra şeklini koruyabilen ve taşıyıcılığı gün geçtikçe artan bir malzemedir. Geleneksel olarak 28 günlük mukavemet değerleri kıyaslanır.

Betonda üç temel nitelik olarak işlenebilirlik, dayanıklılık ve mukavemet değerlerine bakılır. Mukavemet betonun kendisinden beklenen basınç, çekme ve eğilme gibi taşıyıcılık özellikleridir.

Betonun kolayca karıştırılabilmesi, taşınabilmesi, kalıba yerleştirilebilmesi ve bu işlemler esnasında homojenliğini muhafaza etmesi ve ayrışmaması beklenir ve bu özellik işlenebilirlik olarak tanımlanır. Çimento ve agreganın özgül ağırlıkları farklı olduğu için, işlenirken ayrışmaya ve homojenliğinin bozulmasına meyillidir. Bu sebeplerle yaş betonda karışım anından sertleşme durumuna kadarki işlenebilirlik özellikleri çok önemlidir. Aynı şekilde dayanıklılık, yani sertleşmiş betonun servis ömrü boyunca kendisini ve içindeki donatıyı koruyabilmesi için yeterli su geçirgenliği ve korozyon gibi dayanıklılıklarının olması anlamına gelir [Akman, 1990].

Uygun oranlarda karışım sağlandıktan sonra çimento ve su reaksiyona girer. Bu kimyasal olaya çimentonun hidratasyonu denir ve ekzotermik (dışarıya ısı veren)

reaksiyondur. Hidratasyon sonucu çimento ve su kristal bir yapı ve ortaya çıkan kristaller de jel bir ortam oluşturur. Zaman ilerledikçe bu jel sertleşerek taşıyıcılık kazanır. Başta akışkan özelliğe sahip olan çimento hamuru, zaman içinde mukavemet kazanarak sağlam bir yapı malzemesi haline dönüşür. Betonun eğilme, basınç ve çekme dayanımı, elastisite modülü, su geçirgenliği, yoğunluğu, su emme oranı, boşluk oranı korozyon mukavemeti gibi kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri doğrudan s/b oranına ve kür şartlarına (nem, süre ve sıcaklık) bağlıdır [Arioğlu vd., 2006].

4.3. Beton Karışım Suyu

Beton üretimi yapılırken kullanılan ana malzemelerden biri de sudur ve suyun betondaki fonksiyonları şu şekilde özetlenebilir:

- Puzolanik malzeme ve çimento gibi bağlayıcılarda hidratasyonu sağlamak.
- İri agrega ve kum tanelerinin yüzeylerini ıslatmak.
- Betonun işlenebilirliğini artırmak.

Beton karışım oranında optimum miktarda su kullanarak beton mukavemeti en üst düzeye çıkartılabilir. Ancak optimum değerden daha az miktarda su kullanılması durumunda çimento hidratasyonu yeterli seviyeye ulaşmayacak, iri agrega ve kum taneleri yeteri kadar ıslanmadığı için bu malzemeler ile çimento yeterli aderansa erişemeyecek ve aynı zamanda beton işlenebilirliği de azalacaktır. Bunların sonucunda da daha düşük mukavemetli beton elde edilecektir. Benzer şekilde optimum değerden daha fazla miktarda su kullanılması durumunda da betondaki boşluk miktarı artacak ve bu durum beton mukavemetinin azalmasına neden olacaktır. Bununla ilgili Birleşik Amerika Çimento Birliği tarafından yapılan deneylerde su miktarının uygun değer değerden % 20 fazla olması durumunda beton mukavemetinde ortalama %30 azalma, % 30 fazla olması durumunda da beton mukavemetinde ortalama %50 azalma olduğu belirtilmiştir [Akman, 1990].

4.4. Agregas

Betonun içinde yaklaşık %60-%80 oranda bulunan taneli malzemeye agrega denir. Agregalarda en küçük boyut 0,06 mm olarak kabul edilir. Bu boyuttan daha küçük olup 0,002 mm ile 0,06 mm arasında dane çapı olan malzeme silt olarak ve 0,002 mm den daha küçük dane çapındaki malzeme de kil olarak isimlendirilir [Arioğlu vd., 2006].

Agregalar dane çaplarına göre iri agrega ve ince agrega olmak üzere ikiye ayrılır. Dane çapı 4,75 mm den küçük agregaya ince agrega veya kum, 4,75 mm ve 4,75 mm den büyük agregada da iri agrega denir. İri agregada da maksimum 40 mm dane çapı kullanılır [Arioğlu vd., 2006].



Şekil 4.1:İri agrega.

Agregalar yüzey şekillerine ve temin ediliş biçimlerine göre doğal ve kırma olarak ikiye ayrılır. İri kaya parçalarının kaya kırma makineleri veya değirmenler yardımı ile kırılarak ve ufalanarak küçük parçalara ayrılması yoluyla elde edilen iri agregaya kırmataş ve ince agregaya da kırma kum denir. Akarsu gibi yerlerden temin edilen yüzeyleri doğal sürtünmeler ile aşınarak yuvarlaklaşmış iri agregaya çakıl ve ince agregaya da doğal kum yada kısaca kum denir.

İri ve ince agregaların sağlam olması, aşınma direncinin yüksek olması ve su tesiriyle yumuşamaması gerekir. Aynı şekilde tanelerin biçimi ve dokusu düzgün olmalı ve tane büyüklüklerinin dağılımı standartlara uygun olmalıdır. Agregalar bileşiklerinde donatı korozyonu oluşturabilecek maddelerle başka zararlı maddeler içermemeli ve çimento bileşenleriyle de uyumlu olmalıdır [Postacıoğlu, 1975].

4.4.1. Agrega – Su Bağıntısı

- Etüv Kuru Agrega Taneleri: Agrega tanelerinin $105^{\circ}\pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki etüvde 24 saat kurutulması daha sonrasında da desikatörde (nemsiz ortamda) ortam sıcaklığına kadar soğutulması sonucu elde edilen ağırlığıdır. Laboratuvar çalışmalarında genellikle bu haldeki agregalar kullanılır.
- Tamamen Kuru Taneler: Uzun süre susuz kalmış kurak çöl ortamlarında bulunabilen agrega taneleridir. Agreganın içinde ve yüzeyinde hiç su bulunmamaktadır.
- Kuru Yüzeyli Taneler: Tanelerin yüzeyi kuru ancak iç boşlukları kısmen suyla dolu tanelerdir. Akarsudan yeni elde edilmiş veya yeni yıkanmış tanelerde rüzgâr ve güneşin etkisi ile yüzeyi kuru ancak suya doymuş agregalar bu sınıfa girer.
- Kuru yüzeyli doymuş taneler: Yüzeyin tamamen kuru tanelerin tamamen suya doymuş olması durumudur.
- Islak taneler: Agreganın hem tüm boşlukları su ile dolu hem de yüzeyinin ıslak olması durumudur.

Agregalardaki su miktarı agreganın birim ağırlığını, agreganın su emme oranını betonun dayanımını ve dayanıklılığını etkiler, Bu sebeplerle su emme oranının %1 den fazla olması istenmez [Postacıoğlu, 1975].

4.4.2. Agreganın Elek Analizi

Elek göz açıklıkları TS 706 da ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu açıklıklar küçükten büyüğe doğru sırasıyla 0,25 mm, 0,50 mm, 1,00 mm, 2,00 mm, 4,00 mm, 8,00 mm, 16,00 mm ve 31,50 mm'dir.

Agrega doluluk oranına kompansite denir. Betonun birim hacim ağırlığının özgül ağırlığına oranıdır. Yani bir metreküp betondaki agrega hacmidir. Birim hacimdeki agregaların beton içinde işgal ettikleri gerçek hacmi verdiği için bu değer daima 1'den küçüktür.

Çimento ve agrega kullanılarak hazırlanacak olan betonda maliyeti düşürmenin ve betonun taşıyıcılığını artırmanın en önemli yolu kullanılan çimento miktarının azaltılması ve buna bağlı olarak agrega doluluk oranının artırılmasıdır. Yani

kompan sitesi yüksek beton daha az maliyetli ve daha taşıyıcılığı yüksek betondur. Her çaptan uygun miktarlarda agrega olması kompan site değerini artırır ve bir metreküp taze beton içindeki katı malzemelerin hacimleri toplamı kompan siteyi verir.

Beton karışımında kullanılan agregaların boyutlarının dağılımının uygun olması gerekir. Bu sebeple agregalarda elek analizi yaparak ve granülometrik eğrileri oluşturularak beton karışımı hazırlanır. Doluluk oranın en iyi şekilde sağlayan karışım oranlarının oluşturdukları eğrilere referans eğrileri denir. Temelde agrega granülometrisi oluşturulurken referans eğrileri temel alınır [Onaran, 2006].

Beton karışımlarındaki agregaların granülometrik eğrileri başlıca şu hususlarda fayda sağlamaktadır:

- İnce dane çaplı agregaların olduğu karışımlarda özgül yüzey alanı artmaktadır. Daha fazla agrega yüzey alanı agregaların yüzeyini ıslatmak için daha fazla su demektir. Daha fazla su da aynı imento dozajı için daha düşük dayanım anlamına gelmektedir.
- Beton karışımını oluşturan malzemelerin birbirlerinden ayrılmasına ayrışma segregasyon denir. Betondaki ayrışmanın önüne geçmek için de yeterli miktarda ince ve orta büyüklükte agreganın karışımda olması gereklidir. Bu durum sağlanırsa taze betonun aynı zamanda kohezyonu yüksek olur. Yüksek kohezyonlu taze betonda ayrışma riski düşük olur.
- Beton karışımındaki en büyük dane çaplarının miktarı taze betonun kalıba dökülürken iyi yerleşmesinde önemli bir etkiye sahiptir. İri dane çapı muhteviyatı fazla olan betonun kalıba yerleşmesi daha güç olacaktır.
- Kalıba yeni dökülen taze betonda iri daneli agregalar diğer malzemelere göre bir miktar dibe ker. Buna bağlı olarak bir miktar su yüzeye çıkarak taze beton yüzeyinde birikir ve ince bir su tabakası oluşturur. Beton priz alma sürecinde yeteri kadar krlenmez ise yüzeydeki bu su tabakası ani olarak buharlaşır ve betonda büzülme çatlakları oluşur. Bu durum aynı zamanda hassas bir şekilde ayarlanmış olan su/bağlayıcı oranını da değiştirdiği için betonda istenmeyen bir durumdur. İri daneli agregaların karışımda çok olması beton kalitesini bozabilir.
- Doluluk olanı doğrudan beton dayanımını etkilemektedir. Yüksek oranda doluluk oranına sahip beton hazırlamak için Granülometrik eğrilerden yararlanılır [Arioğlu vd., 2006].

4.4.3. Agregada – Çimento Aderansı

Hidratasyon (belirli kimyasal reaksiyonlar) sonucunda beton ile agreganın kenetlenmesine aderans denir ve betonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerini doğrudan etkiler. Çimento ile agregada arasındaki kristal yapı bu iki malzeme arasındaki bağlantıyı olumlu olarak etkileyen bir etki durumundadır. İlk olarak suyla reaksiyona giren yapı Ca(OH)_2 'dir. Alüminat ve silikat jellerinin oluşması Ca(OH)_2 'nin yeterli miktarda ortamda bulunması ile ilgilidir. Agregaların üzerinde bağlantıyı sağlamak üzere kireç kristalleri oluşur. Agreganın da kireç kristalleri ile aynı yapıda olmaları bağı kuvvetli kılar. Bu nedenle CaCO_3 içeren agregalar daha kuvvetli bağ kurmaktadır [Arioğlu vd., 2006].

Agregada kullanılan değerler yüzey kuru suya doygun (YKSD) değerlerdir. Yani agreganın dış yüzeyine açık olan tüm boşluklar suyla dolu ve tüm dış yüzey kuru olma durumu YKSD olarak ifade edilir. Tüm deney ve imalatlarda aynı koşullarda üretim yapılması önemlidir.

5. ÇİMENTO VE BETONDA MİNERAL KATKILAR

Betonda mineral malzeme kullanımı boşluk oranı, boşlukların beton hamuru içindeki dağılımı, şekillerini ve aralıklarını etkiler; ayrıca betonun mekanik özelliklerini ve durabilitesini değiştir, dolayısıyla da hem taşıma gücünden hem de korozyondan sorumludurlar denilebilir. Aynı su ve çimento oranına sahip betonlar karşılaştırıldığında çimentonun türü, dane boyutu ile kullanılan puzolanik malzemenin miktarı ve tipi betonda boşluk oranını doğrudan etkiler. Kullanılan puzolanik malzemeler betonun matris yapısını daha muntazam şekle sokarak boşluk miktarını önemli ölçüde azaltırlar [ACI, 2001].

5.1. Doğal Puzolanlar

Günümüzde puzolanlar yapay ve doğal inorganik malzemeleri ihtiva eden çok daha geniş kapsamlı bir tanıma sahiptir. İnce toz haline getirilen Puzolanlar ortamda su bulunması durumunda kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girerek çimento özellikleri gösteren bileşikler oluştururlar [Tokyay, 2018].

Doğal puzolanlar volkanik kökenli malzemeler (piroklastik) ve tortul kökenli malzemeler (klastik) olmak üzere iki ana kategoriye ayrılır.

Doğal puzolanların kimyasal bileşiminde silikanın (SiO_2) diğer bileşenler üzerinde oldukça geniş ölçüde hâkimiyet gösterdiği görünür. Alümina (Al_2O_3) ikinci en yüksek kütle oranına sahiptir ve üçüncü olarak demir oksit (Fe_2O_3) gelmektedir. Doğal puzolanların çimento ve beton içinde kullanılmaları konusu ile ilgili olan standartlarda bu üç oksidin kütlelerinin toplamı en az %70 olacak şekilde sınırlandırılmıştır. Bu sınırlandırma puzolanların uygunluğu için gereklidir [Tokyay, 2018].

Doğal puzolanlar ancak çok ince öğütülebilmeye başladıktan sonra çimento sistemlerinde kullanıldı. Doğal puzolanlarda istenilen incelik 60 ila 350 m^2/kg arasındadır. Karıştırılmış çimentoda bir bileşen olarak kullanıldıklarında genellikle klinker ile birlikte öğütülürler [Tokyay, 2018].

5.2. Uçucu Küller

5.2.1. Genel Tanımlama

Termik santraller ısı enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür. Enerji sektörünün sürdürülebilirliği açısından termik santraller çok önemlidir. Uçucu kül termik santrallerde kömür yakma neticesinde oluşan yan ürünlerden birisidir.

Dünya genelinde termik santrallerde enerji üretimi için en temel yakıt olarak kömür kullanılmaktadır. Yirmi birinci yüzyılın ilk on yılında dünyadaki elektrik üretiminin yüzde kırkı kömür yakılarak elde edilmiştir. Pulverize (toz haline getirilmiş) kömürün termik santrallerde yakılması neticesinde uçucu kül, kazan cürufu, alt kül ve baca gazı gibi çok sayıda değişik kömür yanma ürünü elde edilir. Pulverize kömür termal enerjiyi elektrik enerjisine çeviren buhar jeneratörlerine giden suyu ısıtmak için kullanılır. Kömür olarak linyit, antrasit ve buna benzer kömür türleri kullanılır. Yanma işlemi sırasında, bu yabancı maddelerin artıklarının baca gazı içerisinde asılı kalması uçucu külü oluşturur. Bunların bir kısmı birikerek ve çökelti yaparak alt kül tabakasını oluşturur. Buna karşılık kalan kısmı da gazlarla taşınır ve daha sonra elektrostatik özelliklere sahip çöktürücüler yardımıyla veya mekanik ayırıştırıcılar kullanılarak toplanır ve uçucu kül temin edilmiş olur. Termik santrallerde kömür yakma sonucunda ortaya çıkan uçucu kül miktarı kullanılan kömürün %6'sı ile %40'ı arasındadır. Bu oran antrasit için %6 ile %15 arasında değişirken linyit için %20 ile %40 arasında değişmektedir. Uçucu külün kimyasal birleşimi kullanılan mevcut kömürün içindeki mineral maddenin tipine ve oranına göre belirlenir [Tokyay, 2018].

Uçucu kül türlerinin %85'i alüminyum oksit (Al_2O_3), silika (SiO_2), kireç (CaO), magnezyum oksit (MgO) ve demir oksit (Fe_2O_3) içerir.

Çok ince partikül boyutlarına sahip olan ve genel olarak kristalize özellik göstermeyen uçucu küller, genellikle yeterli miktarda puzolanik özellik gösterirler. Aynı zamanda yüksek miktarda kireç içermeleri durumunda da hem puzolanik hem de bağlayıcılık açısından hidrolik özellik sunarlar.

Uçucu küllerin fiziksel özellikleri ile mineralojik ve kimyasal bileşimlerinin çeşitliliği temin edildiği termik elektrik santralde kullanılan kömürün kaynağına ve özelliklerine, kömürün yakılma şekline ve metoduna, yakma ekipmanının tipine ve kömürün toplanma şekline bağlıdır ve bu özelliklere göre değişiklikler gösterir. Bu

sebeplerle uçucu küller farklı termik elektrik santrallerinden temin edilmeleri durumunda veya aynı termik elektrik santralinden farklı zamanlarda temin edilmeleri durumunda çok geniş yelpazede değişiklikler gösterirler [Tokyay, 2018].

Öğütülen kömürün termik santrallerde yakılması neticesinde baca içinde sürüklenen küller uçucu kül ve tabanda biriken küllerde cüruf olarak isimlendirilir. Uçucu küller bazı filtreleme yöntemleri ile tutularak biriktirilirler [Dikmen vd., 2011].

5.2.2. Mineralojik Bileşenler

Termik elektrik santrallerinde fırından çıkarıldıktan sonra çok çabuk soğutulan uçucu külün %50-%85'i amorf yapıya dönüşür. Kömür kullanılan termik elektrik santrallerinde yüksek hızda yakma, kuru yakma ve akışkan yakma gibi farklı türlerde yakma süreçleri vardır. Bunlarda en çok kullanılanı kuru yakma sürecidir. Kuru yakma sürecinde yakma ısısı 1000°C ile 1400°C arasında değişir. Uçucu külün değişik mineral fazları değişik yakma ısılarında elde edilir ve bu ısı aralığı külün tipi ve elde edilecek kül miktarını da etkiler. Aynı zamanda yakılan kömürün yabancı maddeler içermesi (temiz olmaması) uçucu külün mineralojik bileşimini etkiler. Tablo 5.1'de antrasit ve linyit kömürünün yakılması neticesinde elde edilen uçucu kül içinde minerallerin oranları gösterilmiştir [Tokyay, 2018].

Tablo 5.1: Uçucu kül mineral oranları.

Mineralin		Miktar Oranı (%)	
Adı	Formülü	Antrasitten Elde Edilen	Linyitten Elde Edilen
Kuars	SiO ₂	2.0-8.5	2.0-6.0
Mullit	Al ₆ Si ₂ O ₁₃	6.5-14.0	1.0-5.0
Hematit	Fe ₂ O ₃	1.5-7.0	2.0-6.0
Magnetit	Fe ₃ O ₄	0.5-10.0	0.6-2.5
Kireç	CaO	<3.5	5.0-30.0
Anhidrit	CaSO ₄	0	0.7-16.9
Plajiyoklaz	NaAlSi ₃ O ₈ -CaAl ₂ Si ₂ O ₈	0	0.0-28.0
Amorf	-	45.0-95.4	30.0-80.0

5.2.3. Kimyasal Bileşenler

Uçucu külün bileşenleri nadiren de olsa serbest oksit formunda olurlar, buna rağmen uçucu külün kimyasal bileşenlerinin analizi için oksit analizi kullanmak geleneksel yöntemdir. Termik elektrik santrallerinde yakılan kömürün içinde bulunan yabancı maddelerin oranı, tipi ve elde edilme biçimi ile yakma fırının özellikleri uçucu külün mineralojik özellikleri etkilediği gibi kimyasal özelliklerini de etkiler ve çok geniş bir yelpazede kimyasal özellik göstermesine neden olur. Antrasitten elde edilen uçucu külde çok miktarda silis (SiO_2), alüminyum oksit (Al_2O_3) ve demir oksit (Fe_2O_3) bulunur. Linyit kökenli uçucu küllerde ise buna ek olarak az miktarda kireç (CaO) ve sülfür trioksit (SO_3) bulunmaktadır. Her türlü uçucu kül içinde Na_2O , MnO , K_2O , MgO , TiO_2 gibi oksitler de az miktarlarda bulunabilir [Tokyay, 2018].

5.3. Yüksek Fırın Cürufu

Demir-çelik fabrikalarında çelik üretimi esnasında ortaya çıkan bir yan üründür. Üretim esnasında çıkan yüksek fırın cürufu aniden soğutularak granül hale getirilir. Elde edilen bu granül ürün çok ince öğütülerek çimentoya katılır. Tek başına bir bağlayıcılığı olmayan yüksek fırın cürufu çimento ile birlikte yani çimentoya belirli oranda katıldığı zaman betonun birçok fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerine katkısı olur. Basınç dayanımını, işlenebilirliği, akışkanlığı, su ihtiyacını çekme dayanımını vs. olumlu etkiler. TS EN 197-1 standardında özellikleri verilen ve CEM III olarak isimlendirilen çimentolar yüksek fırın cürufu çimentolar olarak geçer. Aynı standarttaki CEM II ve CEM V olarak isimlendirilmiş çimentolarda da belirli miktarlarda yüksek fırın cürufu olabilmektedir.

5.4. Silis Dumanı

Silikon metali, silikonlu metal alaşım, ferrosilikon üretimi yapan fabrikalarda oluşan bir yan üründür. Yaş betonda işlenebilirliğe olumsuz etkisi olur ve sertleşmiş betonun mekanik özelliklerini iyileştirir. Silis dumanı da yüksek fırın cürufu gibi atık bir malzemedir ve puzolanik özellik bakımından yüksek verimliliğe sahiptir. Bu nedenlerle beton teknolojisinde kullanılan bir malzemedir. Cengiz D. Atış ve

diğerlerinin yaptığı çalışmada silis dumanı katılmış çimento ile üretilen betonların mekanik özelliklerinde 28 günde fark edilir seviyelerde artış gözlemlenmiştir [Atiş vd., 2003].

5.5. Diğer Mineral Katkılar

5.5.1. Kalsine Killi Toprak

Killi toprağın veya kireç taşının yakılarak toz haline getirme işlemine kalsinasyon denir. Yakma esnasında karbonat ve hidratlar parçalanır ve oksit bileşikler oluşur. Kalsine killi toprak da puzolanik özelliğinden ötürü betonda mineral katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır.

5.5.2. Atık Cam

Günümüzde cam atıklarının tüm dünyada ölçülebilen miktarı yaklaşık olarak yıllık 14 milyon tondur. Cam doğal amorf yapıya ve yüksek silika içeriğine (>%70) sahiptir ve bu nedenle çimento ve betonda mineral katkı olarak tercih edilmektedir. 0.040 mm den daha ince öğütülmüş atık cam tozları tatmin edici oranda puzolanik özellikler göstermektedir. Çimentoda ince öğütülmüş cam tozu kullanılması alkali-silika reaksiyonunu iyileştirmektedir [Tokyay, 2018].

Cam tozunun %30 nispetinde ikame edilerek kullanıldığı çalışmalar vardır. Çimento ve su bir araya geldiğinde hidratasyon neticesinde Ca(OH)_2 oluşur. Ca(OH)_2 ortamda bulunan SiO_2 ile bağ kurarak CSH oluşturur. Betonun basınç, eğilme ve çekme gibi dayanım özellikleri CSH sayesinde olur [Öz, 2017].

Devrim Pekdemir ve diğerlerinin yaptığı benzer çalışmada cam tozu kullanarak tuğla üretimi yapılmış ve cam tozunun tuğlanın mekanik, kimyasal ve fiziksel özelliklerine olumlu katkısı gözlemlenmiştir [Pekdemir ve Bayram, 2015].

5.6. Mineral Katkıların Çeşitli Etkileri

5.6.1. Hidratasyona Etkisi

Çimento içeriğinde bulunan farklı oranlardaki malzemelerin su ile birleşerek yaptıkları kimyasal reaksiyon hidratasyon olarak isimlendirilir. Ve ekzotermik yani dışarıya ısı veren reaksiyondur.

Kimyasal reaksiyonlar sonucu ortaya çıkan bu ısı beton kalıba döküldükten sonra ilk günlerde ortaya çıkar. Betonun fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak ısı iletim katsayısı çok düşüktür. Bu nedenle beton bu ısıyı dışarı atamaz, ısı beton içinde kısmen hapsolür ve beton bu nedenle genleşmeye başlar. Kalıp gören dış yüzeyler daha çabuk soğuyacağı için yavaş soğuyan iç kısımlar ile aynı oranda genleşmez. Oluşan bu ısı ve genleşme farklılığı nedenleriyle betonda ek gerilmeler ve çatlaklar oluşur.

Betonun hidratasyon ısısı çimento danelerinin inceliği ile bağlantılıdır ve azalarak devam eder. Açığa çıkacak olan toplam ısıнын yaklaşık yarısı ilk üç günde oluşur. Karışımın yedinci gününde %75'lik ve altıncı ayın sonunda da %90'lık kısmı açığa çıkar. Altıncı aydan sonra da kalan %10'luk kısmı azalarak çıkmaya devam eder [Yalçın, 2006].

Bu nedenlerle yüksek hidratasyon ısısı betonda olumsuz etki oluşturmaktadır ve bu ısıyı düşürücü faktörler tercih edilir. Beton karışımlarında puzolanik malzeme kullanımının hidratasyon ısısını düşürdüğü daha önce yapılan bazı deneysel çalışmalarda görülmüştür.

Tokyay 3 farklı tipte uçucu kül (UK1, UK2 ve UK3) ve 3 farklı ikame oranı kullanarak 7, 28, 90 ve 180 günlük hidratasyon ısılarını iki farklı kür durumu için incelemiş ve bunları kontrol numuneleri ile karşılaştırmış.

Tokyay bu işlem için 80 farklı karışım incelemiş ve numuneleri deney anına kadar hava geçirmeyecek şekilde kapatılmış cam şişelerde tutarak kürlemiş. Birinci deney setini 23°C sıcaklıkta bekleterek kürlemiş (KD1). İkinci deney setini de ilk altı saat 67°C dış ısıya maruz bırakmış ve sonrasında birinci deney setindeki şartlarda bekletmiş (KD2). Tokyay'ın %10, %20 ve % 40 ikame oranları kullandığı deney sonuçları Tablo 5.2 ve Tablo 5.3'te verilmiştir. Bu tablolarda her üç türdeki puzolanik

malzeme için de ikame oranı arttıkça hidrasyon ısısının düştüğü açıkça görülmektedir [Tokyay, 1988].

Tablo 5.2: Farklı ikame oranları ve KD1 için hidrasyon ısısı değişimi.

Hidrasyon Isısı Değerleri (kal/g) Birinci Kür Durumu için (KD1).										
Gün	Kontrol	10% Uçucu Kül			20% Uçucu Kül			40% Uçucu Kül		
	Betonu	UK1	UK2	UK3	UK1	UK2	UK3	UK1	UK2	UK3
7	72.4	74.0	69.3	68.8	70.7	61.4	59.8	64.3	42.9	40.3
28	83.1	85.4	73.3	72.4	78.0	70.8	69.2	76.8	60.0	58.7
90	102.7	107.9	97.6	98.5	101.4	94.3	92.4	99.0	89.8	88.6
180	106.8	110.3	100.8	101.0	104.5	96.9	97.3	103.7	93.2	91.9

Tablo 5.3: Farklı ikame oranları ve KD2 için hidrasyon ısısı değişimi.

Hidrasyon Isısı Değerleri (kal/g) İkinci Kür Durumu için (KD2).										
Gün	Kontrol	10% Uçucu Kül			20% Uçucu Kül			40% Uçucu Kül		
	Betonu	UK1	UK2	UK3	UK1	UK2	UK3	UK1	UK2	UK3
1	65.8	70.4	60.4	58.7	68.3	56.5	55.7	60.8	40.0	42.3
7	81.1	82.3	67.5	66.9	81.4	63.0	64.1	74.4	54.2	53.7
28	86.0	88.6	79.1	78.9	87.0	74.1	72.8	81.3	65.5	64.4
180	106.2	110.2	103.1	103.4	108.2	101.8	102.9	103.6	95.3	95.8

5.6.2. İşlenebilirliğe Etkisi

Mehmet Uzun ve diğerlerinin yaptığı çalışmalarda cam tozunun çimento ikamesi ile oluşturulan numuneler, yaş beton ve sertleşmiş beton deneyleri yapılarak kontrol numuneleri ile karşılaştırılmış. Yaş beton testlerinden çökme testinde (kıvam testi) kontrol numunelerinin slump değerlerinin daha yüksek olduğu (21 cm) buna karşılık cam tozu kullanılan numunelerde ikame oranı arttıkça slump değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Bunun nedeni olarak cam tozunun daha ince öğütülmüş bir malzeme olması ve dolayısıyla toplam yüzey alanının artması ve buna bağlı olarak da yüzeyi kaplamak için gerekli su ihtiyacının artması gösterilmiştir. Cam tozu kullanımında slump değeri düştüğü için betonda ek olarak akışkanlaştırıcı katkı malzemesi kullanılması önerilmiştir [Uzun vd., 2018].

Puzolanik malzemelerin değişik ikame oranlarındaki beton karışımlarında slump değerlerine etkisi ile ilgili yapılan diğer bir çalışmada farklı ikame oranları için slump

değerlerinin 10 ila 40 mm aralığında artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Bununla ilgili elde edilen slump sonuçları Tablo 5.4'tedir [Duran-Herrera et al., 2011].

Tablo 5.4: Uçucu kül ve slump ilişkisi.

UK miktarı	Slump miktarı
%	mm
0	220
15	250
30	250
45	260
60	250
75	230

5.6.3. Sertleşmiş Betona Etkisi

Mehmet Uzun ve diğerlerinin yaptığı çalışmalarda basınç dayanımları da karşılaştırılmış ve %10'luk ikame oranı olan numunenin kontrol betonuna göre basınç dayanımının cüzi miktarda azaldığı gözlemlenirken, %15 ve %20'lik ikame oranlarında basınç dayanımının belirgin bir şekilde arttığı izlenmiştir. Basınç dayanımındaki iyileşmenin nedeni olarak çok ince bir malzeme olduğu için betondaki kılcal çatlakların ilerlemesinin hızını azaltması gösterilmiştir [Uzun vd., 2018].

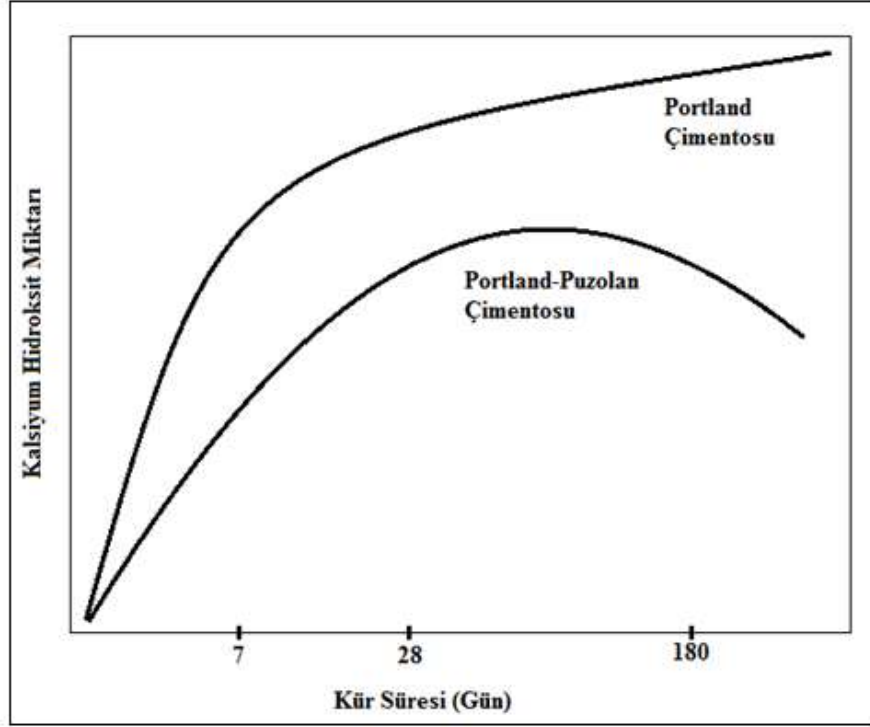
5.6.4. Dayanıma Etkisi

Puzolanik malzemeler ince dane çapına sahiptir ve karışımdaki serbest kireç ile reaksiyona girerek çimentonun boşluk oranını değiştirirler. Bu özelliklerinden ötürü, puzolanik malzeme katılmış çimento ile imal edilen betonlarda ilk zamanlarda düşük basınç dayanımı elde edilirken ilerleyen zamanda bu dayanım artmaktadır.

Çimento hidratasyonu sırasında serbest kireç açığa çıkmaktadır ve puzolanik kimyasal reaksiyonlarla kirecin bağlanması sonucunda kireç oranı giderek azalır. Bu nedenle puzolan kullanılan beton hamurunda daha çok miktarda CSH bileşiği ve daha az miktarda kireç bulunur.

Daha fazla bağlayıcı bileşik olması basınç dayanımını artırırken daha az kireç olması da boşluk oranını düşürdüğü için dayanıma olumlu katkısı olmaktadır.

Kalsiyum hidroksit miktarının farklı iki çimento türü için zamana bağlı değişimini gösteren grafik Şekil 5.1’de sunulmuştur [Yalçın, 2006].



Şekil 5.1: İki farklı çimento durumu için kireç miktarının zamana bağlı değişimi.

5.7. Özel Betonlarda Puzolanik Malzeme Kullanımı

Bazı statik ve mimari gereksinimleri karşılamak için üretim, taşıma, yerleştirme, dayanım ve mukavemet bakımından normal betonlardan farklı beton türleri de vardır. Aşağıda listelenen beton türleri özel betonlar olup her birinin karışımında değişik oranlarda puzolanik malzemeler kullanılmaktadır. Yüksek fırın cürufu ve uçucu kül gibi puzolanik malzemelerin yanı sıra bazılarında cam tozu da kullanılmaktadır.

- Kendiliğinden Yerleşen Beton
- Hafif Beton,
- Enjeksiyon Betonları
- Ağır Beton
- Lifli Beton
- Püskürtme Beton

- Yüksek Dayanımlı Beton
- B r t Beton
- Şeffaf Beton
- Vakumlu Beton

Bunlar arasında kendiliğinden yerleşen beton kullanışlılık bakımından üstün niteliklere sahip bir beton türüdür. Adından da anlaşılabacağı üzere kalıba kolayca yerleşebilen ve yayılan, yerleşmesi için ilave bir işlem veya enerji gerekmeyen, yüksek miktarda akışkanlık özelliğine sahip ve ayrışma direnci normal betona göre büyük olan özel bir beton türüdür. Böyle özelliklere sahip olmasının nedeni karışım muhteviyatındaki çok ince malzemelerdir. Bu çok ince malzemeler yüksek fırın cürufu, uçucu kil, silis dumanı, kırmataş üretimi esnasında ortaya çıkan taş tozları ve son dönemde üretimi yaygınlaşan akışkanlaştırıcı katkı malzemeleridir. Ayrıca ince agrega da kendiliğinden yerleşen beton karışımlarında fazladır. Bu nedenle bu tip betonun granülometrik özellikler alışılagelmiş betonlarınkinden farklıdır [Arioğlu vd., 2006].

Hatice  zn r öz tarafından yapılan çalışmada kendiliğinden yerleşen beton üretiminde değişik oranlarda cam tozu ve yüksek fırın cürufu kullanılmış, özellikle yüksek oranlardaki ikamelerde cam tozunun beton dayanımına olumlu katkısının yüksek fırın cürufuna göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Aynı çalışmada hem basınç dayanımı hem de eğilme dayanımı sonuçlarına bakılmış her ikisinde de cam tozunun daha etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır ve cam tozunun silis oranının (yaklaşık %70) yüksek fırın cürufu silis oranından (yaklaşık %35) daha fazla olması bu duruma neden olarak gösterilmiştir. Çünkü Puzolanik malzemeler aktif silis ile reaksiyona girerek CSH jellerini oluşturur. Bu CSH jelleri betona dayanımını veren yapılardır. Aktif Silis Ca(OH)_2 içinde bulunur ve Ca(OH)_2  imento ve suyun hidratasyonu ile oluşur [ z, 2017].

Hafif betonların yoğunluğu yaklaşık 800 kg/m^3 ' n altıda olan betonlardır. Muhteviyatında gözenekli hafif agrega bulunur.  retimi esnasında kullanılan alüminyum tozu gibi bazı kimyasal katkıları karışımındaki kireç ile reaksiyona girerek hava kabarcıkları oluşturur. Böylece porozitesi yüksek ve gözenekli dolayısıyla hafif ve yalıtımlı bir beton elde edilir. Ancak hafif beton yüksek termal hareket ve büzülme potansiyeline sahiptir ve bu büzülme nedeniyle oluşan gerilmeler, üretim aşamasında

uygulanan yüksek buhar kürü sayesinde azaltılır. Buhar kürü uygulanarak basınç dayanımı artırılacaksa karışıma puzolanik malzeme ilave edilir veya ince agrega kullanmak yerine çok ince öğütülmüş yüksek fırın cürufu veya uçucu kül kullanılır. [Oymael, 2018].

Mevcut bir yapıya ait betondaki gözeneklerin yüksek basınç kullanılarak akışkanlığı az yaş beton ile doldurulması yoluyla mevcut betonun mekanik özelliklerinin daha iyi bir seviyeye getirilmesi işlemine enjeksiyon denir. Bu yöntemde kullanılan betonlar da enjeksiyon betonu olarak isimlendirilir ve puzolan olarak genelde uçucu kül kullanılır. Bu tip betonlarda puzolan kullanılmasının nedeni puzolanik malzemelerin betonun elastikiyetini önemli ölçüde değiştirmesidir. Puzolan kullanılarak üretilen enjeksiyon betonlarının elastikiyeti ilk yaşlar da düşüktür, ileri yaşlarda yükselir. Amorf özelliklere sahip silis dumanı enjeksiyon betonlarında işlenebilme, durabilite ve mekanik özellikleri olumlu yönden artırır [Oymael, 2018].

Günümüzde hazır beton tesisinde üretilen betonlar şantiyede istenilen bölgeye esnek borular ve pompalar kullanılarak dökülmektedir. Bu tip betonlara pompa betonu denir. Beton esnek borular içinde basınç altında iletilirken sürtünme sebebiyle oluşan ilave ısı nedeniyle betonda termal gerilmeler oluşur. Bunu önlemek amacı ile beton karışımında uçucu kül gibi puzolanik malzeme kullanılır [Oymael, 2018].

Yol, baraj, liman ve sedde inşaatlarında kullanılan bir beton türü olan silindir sıkıştırılmalı betonlar rolkrit olarak isimlendirilir ve çok kuru kıvamlı bir beton olmasından dolayı ölçülebilen bir slump değeri yoktur. Üretimi sırasında çok büyük oranda yüksek fırın cürufu ve uçucu kül gibi puzolanik malzeme kullanılır [Oymael, 2018].

Uçucu külün fazla miktarda temin edilebildiği ve ucuz olduğu ülkelerde rolkrit üretiminde %50 ye kadar ikame oranı ile uçucu kül kullanılmaktadır [Erdemgil, 1987].

6. DENEYSEL ÇALIŞMA

6.1. Kullanılan Malzemeler

Deneylerde Nuh Çimento Sanayi A.Ş. tarafından üretilen TS EN 197-1'e göre CEM I 42.5 R olarak sınıflandırılan portland çimento tipi kullanılmıştır. Bu malzemenin üretici firmasından alınan kimyasal ve fiziksel analiz sonuçları ile mineralojik bileşimleri sırasıyla Tablo 6.1, Tablo 6.2 ve Tablo 6.3'te verilmiştir. Ayrıca üretici firma tarafından verilen kalite sertifikası ve analiz sonuçlarının tamamı Ek-B'de mevcuttur.

Tablo 6.1: CEM I 42.5 R kimyasal analiz sonuçları.

Kimyasal Analiz Sonuçları	
Malzeme	%
SiO ₂	19.50
Al ₂ O ₃	4.23
Fe ₂ O ₃	3.72
CaO	63.93
MgO	1.63
SO ₃	2.85
Çözünmeyen Kalıntı	0.28
Kızdırma Kaybı	0.69
Serbest Kireç	1.51
Toplam Alkali Na ₂ O + 0.658K ₂ O	0.53
Klorür	0.0058

Tablo 6.2: CEM I 42.5 R fiziksel analiz sonuçları.

Fiziksel Analiz Sonuçları		
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3.19	
Kıvam (su/çimento,%)	28.7	
Donma Süresi (Vicat, dakika)	Başlangıç	Son
	149	197
Hacim Sabitliği (Le Chatelier, mm)	1	

Tablo 6.3: CEM I 42.5 R mineralojik bileşimi.

Mineralojik Bileşimi	
C ₃ S	64.09
C ₂ S	7.57
C ₃ A	4.9
C ₄ AF	11.32

Beton karışımında kullanılan doğal kum ve kırma kum 105°±5°C sıcaklıktaki etüvde 24 saat kurutuldu. Daha sonrasında nem almaması için kapaklı plastik kaplarda ortam sıcaklığına kadar soğutuldu ve karışım anına kadar bu kaplarda saklandı.

Çalışmada kullanılan agregalar şunlardır:

- 2 numaralı kırmataş (d=11.2-22.4 mm)
- 1 numaralı kırmataş (d=5.0-11.2 mm)
- Kırma kum (d=0.0-5.0 mm)
- Doğal kum (d=0.0-0.4 mm)

Beton karışımında kullanılan iri agregalar (1 ve 2 numaralı kırmataşlar) laboratuvar ortamında düzgün bir yüzeye serilerek kurutuldu.

1 ve 2 numaralı kırmataşların serilerek kurutulma görüntüleri Şekil 6.1’dir



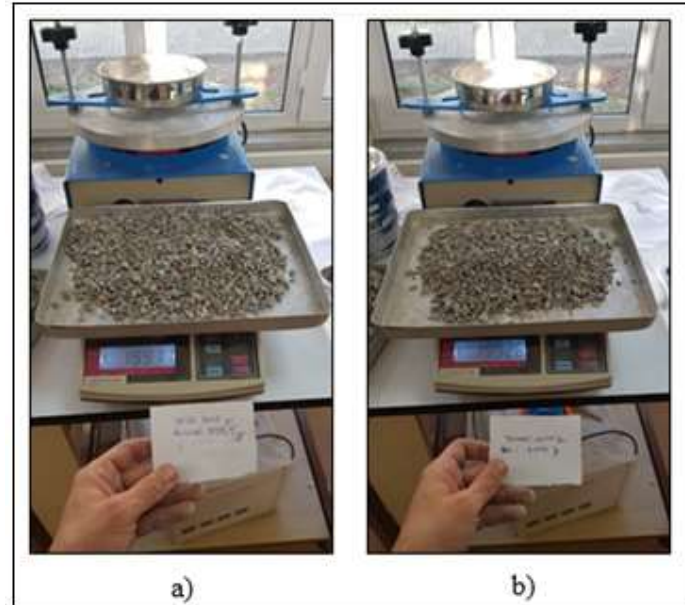
Şekil 6.1: a) 1 numaralı kırmataş, b) 2 numaralı kırmataş.

Karışımlarda kullanılan iri agregaların, yüzey kuru suya doygun yoğunluk tayini, etüv kuru yoğunluk tayini, gevşek yığın yoğunluğu tayini ve su emme oranı sonuçları Tablo 6.4’te verilmiştir.

Tablo 6.4: İri Agrega yoğunluk ve su emme oranı tayini.

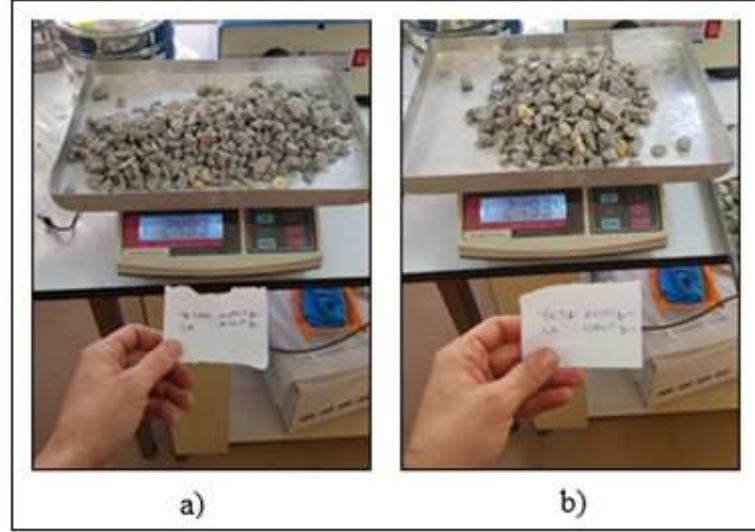
Yoğunluk Tayini			
1. Yüzey kuru suya doymun yoğunluk tayini	Birimi	Kırmataş 2	Kırmataş 1
Yüzey kuru suya doymun yoğunluk ağırlık	g	4699.70	4000.00
Doymun malzemenin su içindeki ağırlığı	g	2955.00	2506.50
Yüzey kuru suya doymun hacim	l	1744.70	1493.50
Yüzey kuru suya doymun yoğunluk	g/cm3	2.69	2.68
2.Etöv kuru suya doymun yoğunluk tayini			
Etöv kuru suya ağırlığı	g	4686.50	3983.70
Doymun malzemenin su içindeki ağırlığı	g	2955.00	2506.50
Etöv kuru suya hacmi	l	1731.50	1477.20
Etöv kuru suya yoğunluk	g/cm3	2.71	2.70
3. Gevşek yığın yoğunluğu tayini			
Ölçü kabının ağırlığı	g	6100.00	6100.00
Ölçü kabının hacmi	l	7.00	7.00
Malzeme brüt ağırlık	g	15592.50	15837.00
Malzeme net ağırlık	g	9492.50	9737.00
Gevşek yığın yoğunluğu	g/cm3	1.36	1.39
4. İri agreganın su emme oranı	%	0.28	0.41

Kırmataş 1'in yüzey kuru suya doymun yoğunluk ve etöv kuru suya yoğunluk tayini için elde edilen tartım sonuçları Şekil 6.2.'de verilmiştir.



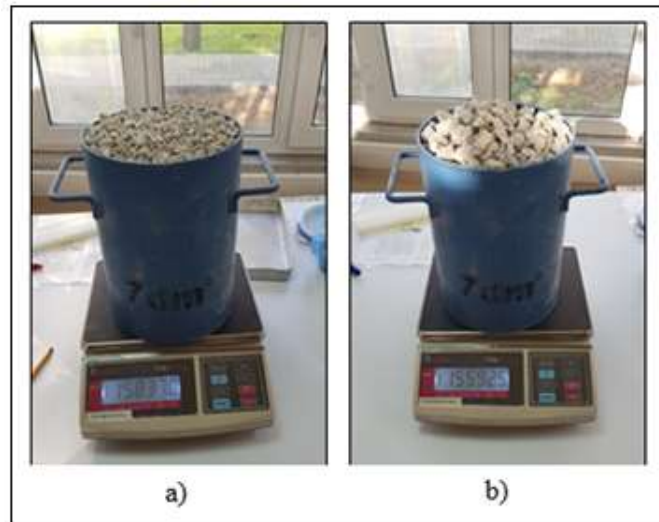
Şekil 6.2: a) Kırmataş 1 için birinci grup tartım sonuçları, b) Kırmataş 1 için ikinci grup tartım sonuçları.

Kırmataş 2'nin yüzey kuru suya doygun yoğunluk ve etüv kuru su yoğunluk tayini için elde edilen tartım sonuçları Şekil 6.3'de verilmiştir.



Şekil 6.3: a) Kırmataş 2 için birinci grup tartım sonuçları, b) Kırmataş 2 için ikinci grup tartım sonuçları.

Kırmataş 1 ve kırmataş 2'nin gevşek yığın yoğunluğu tayini için elde edilen tartım sonuçları Şekil 6.4'de verilmiştir.



Şekil 6.4: a) Kırmataş 1 tartım sonuçları, b) Kırmataş 2 tartım sonuçları.

Deneylerde kullanılacak agregalar elek analizi yöntemi ile granülometrik açıdan incelendi. Elde edilen granülometri sonuçları Tablo 6.5’de verilmiştir ve bu sonuçlar kullanılarak uygun karışım oranları belirlenmiştir.

Ayrıca kullanılan agregaların tedarikçi firma tarafından yaptırılmış olan analiz sonuçları da Ek-A ve Ek –C’de mevcuttur.

Tablo 6.5: Elek analizi sonuçları.

	Kümülatif Geçen (%)				
Elek Çapı (mm)	Doğal Kum	Kırma Kum	KT-1	KT-2	Karışım
32	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
22.4	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
16	100.00	100.00	100.00	61.95	90.11
11.2	100.00	100.00	96.90	6.80	74.84
8	100.00	100.00	57.35	0.28	61.28
5.6	99.60	99.90	13.20	0.23	47.91
4	97.00	97.15	0.90	0.00	42.98
2	88.50	69.30	0.70	0.00	34.93
1	77.80	37.95	0.00	0.00	25.47
0.5	52.10	19.15	0.00	0.00	15.68
0.25	11.20	10.95	0.00	0.00	4.87
0.125	1.40	3.75	0.00	0.00	1.13
0.063	0.00	1.40	0.00	0.00	0.31
Karışım Oranı	0.22	0.22	0.3	0.26	



Şekil 6.5: Elek analizinde kullanılan elekler ve sarsma sehpası.

Deneylerde Akcihan Madencilik tarafından üretilip temin edilen atık cam tozu kullanılmıştır. Bu malzemenin üretici firmasından alınan kimyasal ve fiziksel analiz sonuçları sırasıyla Tablo 6.6 ve Tablo 6.7’de verilmiştir. Ayrıca üretici firma tarafından verilen analiz sonuçlarının tamamı Ek-D’de mevcuttur.

Tablo 6.6: Atık cam tozu kimyasal analizi.

Parametre	Değer (%)
SiO₂	69.42
Fe₂O₃	0.48
CaO	8.27
Al₂O₃	1.09
MgO	4.25
Na₂O	12.31

Tablo 6.7: Atık cam tozu fiziksel analizi.

Fiziksel Özellik	Birim	Değer
Özgül ağırlığı	gr/cm ³	2.58
Yığın yoğunluğu	gr/cm ³	1.56
Erime derecesi	°C	720
Su absorpsiyonu	%	2
Tane boyutu	mm	<0,125

6.2. Çalışma Programı ve Yöntemi

Bu çalışmanın amacı farklı su/çimento oranlarında atık cam tozu k-değerlerinin belirlenmesi ve seçilen k-değeri ile üç farklı su/çimento oranında oluşturulan beton karışımlarının mekanik özelliklerinin test edilip sonuçların cam tozu içermeyen beton karışımlarıyla karşılaştırılmasıdır. Bu bağlamda betonun basınç ve çekme dayanımları test edilmiştir.

Bu çalışmada deneysel yöntemler kullanılmıştır. İlk olarak beton karışımlarında kullanılan ve bir nevi taşıyıcı iskelet oluşturarak betonun dış mekanik etkilere karşı koymasını sağlayan iri ve ince agregaların yoğunluk tayinleri yapılmıştır. Bu kapsamda sırasıyla yüzey kuru suya doygun yoğunluk tayini, etüv kurusu yoğunluk tayini, gevşek yığın yoğunluğu tayini ve iri agreganın su emme oranı tayinine yönelik deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Bir elek seti ve sarsma tablası kullanılarak beton agregalarının gradasyonu belirlenmiş ve beton karışım hesapları bu doğrultuda tamamlanmıştır.

Üretilen ve test edilen bütün betonlar 3 farklı s/b oranı (0.45, 0.55 ve 0.65) için yapılmıştır. Karışımlardan ilk olarak kontrol numuneleri (%0 ikame oranlı) ve daha sonra k-değerini belirlemeye yönelik 3 farklı cam tozu ikame oranlı (%10, %15 ve %20) küp numuneler hazırlanmıştır. Bu numuneler priz ve 28 günlük kür süresinin ardından basınç testine tabi tutulmuş kırılma yükleri tespit edilmiş ve basınç dayanımları hesaplanmıştır.

Elde edilen bilgiler ile 28 günlük Basınç Dayanımı - su / (çimento + cam tozu) oranı ilişkisi kullanılarak k-değerleri hesaplanmış, seçilen k-değeri ve cam tozu ikame oranı ile küp, silindir ve kiriş numuneler dökülmüştür. Ayrıca kontrol numunesi olarak da silindir ve kiriş numuneler hazırlanmıştır. Bu numuneler de priz ve 28 günlük kür süresinin ardından basınç testine ayrıca kiriş numuneler 3 noktalı eğilme deneyi ile çekme dayanımı testine, silindir numuneler yarmada çekme deneyi ile çekme dayanımı testine tabii tutulmuş ve kırılma yükleri tespit edilmiş ve çekme dayanımları hesaplanmıştır.

Tüm deneysel çalışma boyunca elde edilen çimento hamurları 56 litre kapasiteli mikser yardımı ile karıştırılmıştır ve ilgili kalıplara dökülmeden önce slump çökme deneyi ve yaş beton birim hacim ağırlığı ölçümü yapılmıştır. Ayrıca üretilen tüm küp numuneler 28 günlük priz ve kürlenme sürecinin ardından basınç dayanımı testi yapılması esnasında aynı zamanda da beton yüzeyi sertliği yöntemi ile schmidt çekici okumaları yapıldı.

6.2.1. Deney ve Ölçümlerde Kullanılan Standartlar

Deneylerde kullanılan agregaların gevşek yığın yoğunluklarının ve tane büyüklüğü dağılımlarının belirlenmesinde aşağıdaki standartlar kullanılmıştır:

- TS EN 1097-3: Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri için deneyler - Bölüm 3: Gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin tayini
- TS 3530 EN 933-1: Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini - eleme metodu

Beton karışımları hazırlanmasında (tane dağılımının seçilmesi, su çimento oranının seçilmesi ve su miktarının seçilmesinde) aşağıdaki standart kullanılmıştır:

- TS 802: Beton karışımı hesap esasları

Beton karışımlarının hazırlanması sonrasında taze beton yoğunluk belirlenmesi ve çökme değerlerinin ölçülmesinde aşağıdaki standartlar kullanılmıştır:

- TS 12350-2: Taze beton deneyleri – Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi
- TS 12350-6: Taze beton deneyleri - Bölüm 6: Yoğunluk

Beton numunelerinin üretilmesi, kürlenmesi ve deneylere (basınç dayanımının eğilme dayanımının yarmada çekme dayanımının) tabi tutulmasında aşağıdaki standartlar kullanılmıştır:

- TS 3323: Beton basınç deney numunelerinin hazırlanması, hızlandırılmış kürü ve basınç dayanım deneyi
- TS EN 12390-1: Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 1: Deney numunesi ve kalıplarının şekil, boyut ve diğer özellikleri
- TS EN 12390-2: Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin yapımı ve küre tâbi tutulması
- TS EN 12390-3: Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini
- TS EN 12390-5: Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini
- TS EN 12390-6: Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 6: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini
- TS EN 12504-2: Yapılarda betonun test edilmesi - Bölüm 2: Tahribatsız muayene- Geri tepme sayısının belirlenmesi

6.2.2. Karışım Çeşitleri ve Notasyonlar

Deneyler için üretilen numuneler cam tozu ikamesi bakımından %0, %10, %15 ve %20 olmak üzere dört farklı türde yapılmıştır. Su ve bağlayıcı oranı (s/b) bakımından da 0.45, 0.55 ve 0.65 oranında üç farklı türde üretim yapılmıştır. Başlangıçta k-değeri belirlemek için yapılan bu karışımların her birinden üçer adet olmak üzere 9 adet cam tozu olmayan kontrol numunesi, 27 adet değişik oranlarda cam tozu içeren numune üretilmiştir. Daha sonra k değeri 0.2 olan 9 adet numune ile

toplamda 45 adet küp numune üretilmiş ve basınç dayanımlarını ölçmek için hidrolik basınç test aletinde kırılmıştır. Çalışma kapsamında hazırlanan deney numunelerinin listesi Tablo 6.8’dedir.

Beton numunelerinin isimlendirilmesinde C4520, C5515, C6510 ve C4520k gibi notasyonlar kullanılmıştır. Bu ifadelerde ilk hane (C) beton kelimesini, 2. ve 3. hanelerdeki 45, 55 ve 65 sayıları s/b oranını, 4. ve 5. hanelerdeki 00, 10, 15 ve 20 sayıları atık cam tozu ikame oranını ve 6. hanedeki k harfi hesaplanmış k değeri üzerinden oluşturulmuş karışımları belirtmektedir.

Deneyler kapsamında TS EN 206 standardına göre 150 mm ebatlı küp, 100 mm çapında ve 200 mm yüksekliğinde silindir ve 100x100x400 mm ebatlarında kiriş numuneler hazırlanmıştır. Küp numuneler basınç deneyinde, silindir numuneler yarmada çekme deneyinde, kiriş numunelerde üç noktalı eğilme deneyinde kullanılmıştır. Hazırlanan bu numunelerin miktarları Tablo 6.8’de gösterilmiştir.

Tablo 6.8: Çalışma kapsamında hazırlanan deney numunelerinin miktarları.

Numune Adı	s/b %	Cam Tozu İkame Oranı %	Üretilen Numune Miktarları (Adet)			Toplam Hacim (m3)	Açıklama
			Küp	Silindir	Kiriş		
C4500	45	0	3	4	3	0.02841	Kontrol numuneleri
C5500	55	0	3	4	3	0.02841	
C6500	65	0	3	4	3	0.02841	
C4510	45	10	3	-	-	0.01013	%10 Atık cam tozu ikameli karışım numuneleri
C5510	55	10	3	-	-	0.01013	
C6510	65	10	3	-	-	0.01013	
C4515	45	15	3	-	-	0.01013	%15 Atık cam tozu ikameli karışım numuneleri
C5515	55	15	3	-	-	0.01013	
C6515	65	15	3	-	-	0.01013	
C4520	45	20	3	-	-	0.01013	%20 Atık cam tozu ikameli karışım numuneleri
C5520	55	20	3	-	-	0.01013	
C6520	65	20	3	-	-	0.01013	
C4520k	45	25	3	4	3	0.02841	Etkinlik katsayısı ile belirlenmiş (k değeri 0.2 olan) karışım numuneleri
C5520k	55	25	3	4	3	0.02841	
C6520k	65	25	3	4	3	0.02841	
Toplam			45	24	18		

6.2.3. Taze Beton Hazırlanışı ve Karışım Oranları

Su ve bağlayıcı oranı (s/b) bakımından 0.45, 0.55 ve 0.65 oranında üç farklı türde üretim yapıldı. Üretim yapmak için malzemeleri karıştırırken mikser kullanıldı. Mikser her üretimden önce temizlendi ve kazan iç kısmı ıslak süngerle silindi. Kazana malzemeler şu sırayla kondu; 2 numaralı kırmataş, 1 numaralı kırmataş, kırma kum, doğal kum, çimento, cam tozu, su. Su ve çimento koyulmadan önce kuru agrega ve kumlar mikser kazana koyuldu ve mala ile bir dakika karıştırıldı. Daha sonra sırasıyla çimento ve cam tozu eklendi ve her malzeme eklendiğinde mala ile bir dakika karıştırıldı. Son olarak mikser çalıştırıldıktan bir dakika sonra gerekli miktardaki su ilave edildi ve mikser üç dakika boyunca çalıştırılarak karışım sağlandı. Elde edilen çimento hamuru ilgili kalıplara dökülmeden önce slump çökme deneyi ve yaş beton birim hacim ağırlığı ölçümü yapıldı.

Tablo 6.9: Agrega karışım oranları ve özgül ağırlıklar

Özgül Ağırlıklar (kg/m ³)		Agrega Karışım Oranları
Çimento	3190	
Cam tozu	2600	
D.kum	2650	0.22
K.kum	2650	0.22
KT-1	2670	0.30
KT-2	2670	0.26
Ağırlıklı ortalama özgül ağırlığı	2660	

Tablo 6.10: Taze beton karışım miktarları.

Karışım Tipi	Su/Çimento Oranı	Su Miktarı kg/m ³	Çimento Miktarı kg/m ³	Cam tozu kg/m ³	Hava Miktarı dm ³ /m ³	Geriye Kalan Hacim m ³	Toplam Agregat Miktarı kg/m ³
C4500	0.45	207	460	0	20	628.80	1673.34
C4510	0.45	207	414	46	20	628.80	1673.34
C4515	0.45	207	391	69	20	628.80	1673.34
C4520	0.45	207	368	92	20	628.80	1673.34
C5500	0.55	209	380	0	20	651.88	1734.75
C5510	0.55	209	342	38	20	651.88	1734.75
C5515	0.55	209	323	57	20	651.88	1734.75
C5520	0.55	209	304	76	20	651.88	1734.75
C6500	0.65	208	320	0	20	671.69	1787.47
C6510	0.65	208	288	32	20	671.69	1787.47
C6515	0.65	208	272	48	20	671.69	1787.47
C6520	0.65	208	256	64	20	671.69	1787.47

Tablo 6.11: Taze beton karışım oranları (agregalar).

Karışım Tipi	Doğal Kum kg/m ³	Kırma Kum kg/m ³	KT-1 kg/m ³	KT-2 kg/m ³	cam tozu hacim dm ³	çimento hacim dm ³	Fark	eşdeğer doğal kum kütlesi	Toplam Hacim dm ³
C4500	368.13	368.13	502.00	435.07					1000
C4510	359.46	368.13	502.00	435.07	17.69	14.42	3.27	8.67	1000
C4515	355.13	368.13	502.00	435.07	26.54	21.63	4.91	13.01	1000
C4520	350.79	368.13	502.00	435.07	35.38	28.84	6.54	17.34	1000
C5500	381.65	381.65	520.43	451.04					1000
C5510	374.48	381.65	520.43	451.04	14.62	11.91	2.70	7.16	1000
C5515	370.90	381.65	520.43	451.04	21.92	17.87	4.05	10.75	1000
C5520	367.32	381.65	520.43	451.04	29.23	23.82	5.41	14.33	1000
C6500	393.24	393.24	536.24	464.74					1000
C6510	387.21	393.24	536.24	464.74	12.31	10.03	2.28	6.03	1000
C6515	384.19	393.24	536.24	464.74	18.46	15.05	3.41	9.05	1000
C6520	381.18	393.24	536.24	464.74	24.62	20.06	4.55	12.06	1000

6.2.4. Beton Numunelerin Şekillendirilmesi

Küp ve silindir numuneler standartlara uygun olarak plastik kalıplara dökülerek oluşturuldu. Kiriş numunelerde standartlarda belirtildiği şekilde çelik kalıplar kullanılarak yapıldı. Beton karışım kalıplara dökülmeden kalıplar kalıp yağı ile yağlandı. Bu işlem numunelerin kalıplardan kırılmadan ve kolay çıkartılabilmesi için

gereklidir. Beton karışım kalıplara iki aşamada dolduruldu. Önce kalıbın yarısına kadar beton dolduruldu, ardından bir hava kompresör ve vibratör yardımıyla betonun kalıba düzgün olarak yerleşmesi sağlandı. Daha sonra kalıbın kalan kısmı da beton ile doldurularak yeniden ve bu defa sadece yeni eklenen kısım için vibratör uygulandı. Son olarak kalıpların üst kısımları mala ile düzgün hale getirildi.

6.2.5. Betonun Saklanması

Kalıplara yerleştirilen betonlar üzerleri naylon bir örtü ile örtülerek iki gün bekletildi. 48 saat sonra kalıplardan çıkarılan numuneler yüzeyleri kontrol edildi ve herhangi bir olumsuzluk olup olmadığına bakıldı. Tüm numunelerin standartlara uygun olduğu görüldü.



Şekil 6.6: Kalıp içindeki küp numuneler.

Sertleşmiş beton numunelerin tüm dünyada aynı standartlarda olması, bunların aynı şartlarla karşılaştırılabilmesi açısından önemlidir. Bu sebeple beton numuneler hazırlanırken ilgili standart olan TS EN 12390-1 (Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 1: Deney numunesi ve kalıplarının şekil, boyut ve diğer özellikleri) kısıtları dikkate alındı. Buna göre kalıp ebatları, betonda kullanılan agreganın en büyük dane boyunun 3.5 katından daha büyük olmasına ve küp ile prizma (kiriş) numuneler için kalıptan çıkan numunelerde de karşılıklı düz yüzeyler birbirine tam paralel olmasına dikkat edildi. Standartta bununla ilgili hata payını %0.5 olarak vermektedir. Gene küp

numunelerde kalıp yüzü görmeyen üst yüzey (mala ile perdahlanan yüzey) ile taban yüzeyi arasındaki ölçü hata payının % 1.0'den az olmasına, silindir numunelerde de benzer şekilde çap toleransının %0.5'ten az olmasına ve silindir ekseninin deney doğrultusundan sapma limiti 0.02 mm'yi aşmamasına dikkat edildi. Küp ve prizma numunelerde birbirine dik yüzeyler arasındaki açı için hata payı 0.5 derecedir, hata payının 0.5 dereceden az olmasına dikkat edildi.

Genel olarak küp numuneler basınç, su emme, permeabilite, donma-çözülme gibi deneylerde kullanılmak için üretilir. Silindir numunelerde benzer şekilde basınç, permeabilite, çekme, özgül ağırlık, elastisite modülü, korozyon deneyleri için üretilir. Prizmatik (kiriş) numuneler ise eğilme dayanımını ölçen deneylerde kullanılır. Bu çalışma kapsamında küp numuneler basınç ve yüzey sertliği; silindir numuneler yarma ve kırış numuneler de eğilme deneylerinde kullanılmak üzere üretildi.

Uygunluk kontrolleri yapılan tüm numuneler deney gününe kadar bekletilecekleri kür tankına alındı. Döküm gününden itibaren 28 gün sonra deneyler yapıldı.

Üretilen tüm numunelerin kalıptan çıkarıldıktan sonra 20°C sabit ısıdaki kür tankında kirece doymun su içinde 28 gün bekletildikten sonra kırılması gerekir. Bu suda bekletme işlemine beton numunenin kürlenmesi denir. Tüm numuneler kürlenme süresi, ısısı ve diğer kür koşullarına dikkat edilerek kırım gününe kadar uygun şartlarda saklandı. Kırım yapılamadan hemen önce kür tankından çıkarıldı, yüzeyindeki fazla su temizlenerek kurulandı ve ilgili deney düzeneklerine yerleştirildi.



Şekil 6.7: Kür tankının dıştan görüntüsü.



Şekil 6.8: Kür tankının (numuneler ile birlikte) içten görüntüsü.

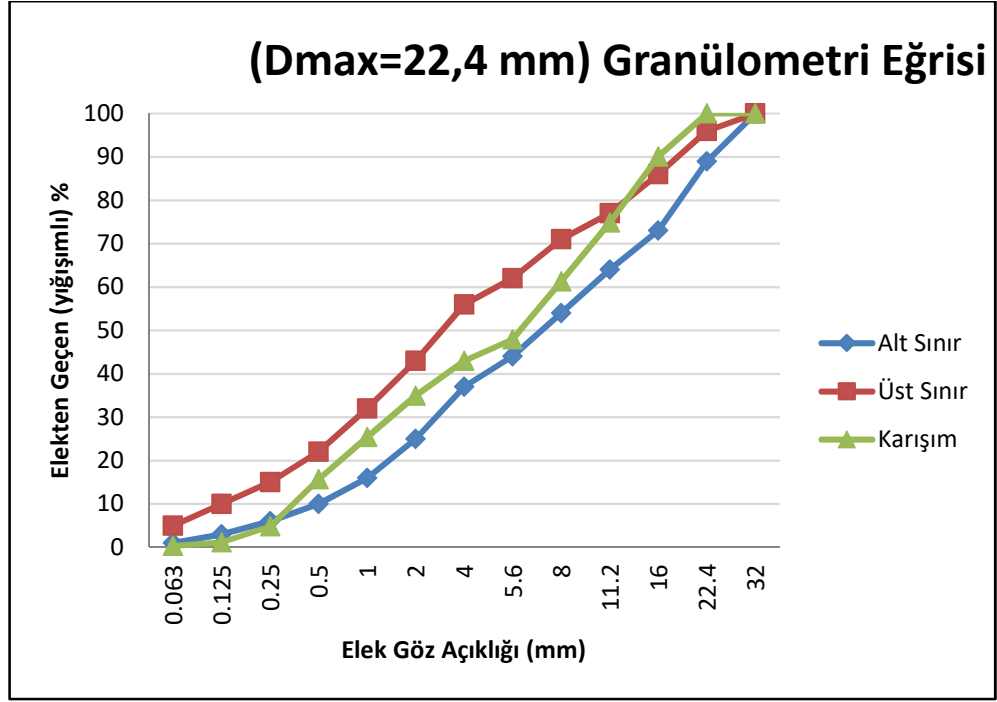
6.3. Uygulanan Deneyler ve Analizler

6.3.1. Gradasyon Eğrilerinin Belirlenmesi

TS 802'ye göre hazırlanmış gradasyon referans eğrilerinin alt sınır, üst sınır ve karışım % değerleri Tablo 6.12'de ve granülometri eğrisi Şekil 6.9'da verilmiştir. Beton karışımları bu tablo ve şekillerdeki değerler baz alınarak hazırlandı.

Tablo 6.12: Gradasyon referans eğrilerinin alt sınır, üst sınır ve karışım % değerleri.

TS 802 Gradasyon Referans Eğrileri (%)			
Elek Çapı (mm)	Alt Sınır	Üst Sınır	Karışım
0.063	1.00	5.00	0.31
0.125	3.00	10.00	1.13
0.25	6.00	15.00	4.87
0.5	10.00	22.00	15.68
1	16.00	32.00	25.47
2	25.00	43.00	34.93
4	37.00	56.00	42.98
5.6	44.00	62.00	47.91
8	54.00	71.00	61.28
11.2	64.00	77.00	74.84
16	73.00	86.00	90.11
22.4	89.00	96.00	100.00
32	100.00	100.00	100.00



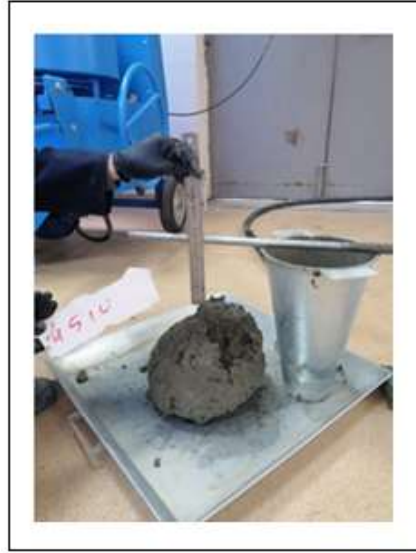
Şekil 6.9: (Dmax=22,4 mm) Granülometri eğrisi.

6.3.2. Taze Beton Deneyleri

C4510 üretim kodlu numunelerin slump değerini ve C5510 üretim kodlu numunelerin taze beton birim hacim ağırlığı ölçüm değerlerini gösteren örnek görsel Şekil 6.11 ve Şekil 6.12'dedir.



Şekil 6.10: Slump deneyinde kullanılan aletler.



Şekil 6.11: Taze beton deney sonuçları örnek görseli (slump deneyi).



Şekil 6.12: Taze beton deney sonuçları örnek görseli (taze beton birim hacim ağırlığı ölçümü).

Tablo 6.13: Taze beton birim hacim ağırlığı deney sonuçları.

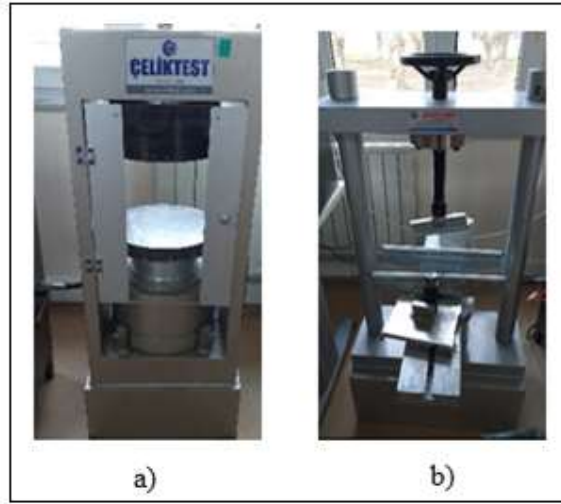
Numune Adı	Taze Beton Slump Değerleri	Taze Beton Ağırlığı (7 litre için)	Taze Beton B.H.A
	cm	g	g/cm ³
C4500	10.0	16573.0	2.37
C4510	13.5	16523.5	2.36
C4515	14.5	16423.0	2.35
C4520	12.0	16502.0	2.36
C4520k	9.0	16380.5	2.34
C5500	14.0	16393.0	2.34
C5510	15.5	16307.5	2.33
C5515	17.5	16325.5	2.33
C5520	14.0	16430.0	2.35
C5520k	12.0	16325.0	2.33
C6500	17.0	16364.0	2.34
C6510	17.5	16273.0	2.32
C6515	18.0	16159.0	2.31
C6520	15.0	16332.0	2.33
C6520k	16.0	16218.0	2.32

6.3.3. Sertleşmiş Beton Deneyleri

6.3.3.1. Tahribatlı Yöntemlerle Basınç ve Çekme Dayanımı Deneyleri

6.3.3.1.1. Kullanılan Deney Makinası

Çeliktest firması tarafından üretilen 2000 kN ölçüm kapasiteli basınç ve eğilme deney makinası kullanılarak numuneler kırılana kadar yükleme yapıldı. Bu şekilde her bir küp, silindir ve kiriş numunenin kırılma yükü makinadan okundu ve betonun basınç ve çekme dayanımı hesaplandı.



Şekil 6.13: a) Basınç ve yarma deneyi makinası, b) Eğilme deneyi makinası.

6.3.3.1.2. Beton Dayanım Testleri İçin Numunelerin Makinaya Yerleştirilmesi

Küp, Silindir ve Kiriş numuneler kür tankından çıkarıldıktan sonra üzerlerindeki su bez ile kuruladı. Numunelerin boyutlarının uygunluğu kontrol edildi ve standartlardaki boyut toleranslarına uygun oldukları görüldü. Numuneler beton döküm yönüne dik olacak şekilde yani kalıp görmeyen üstteki pürüzlü yüzey yana denk getirilerek basınç tablasının tam ortasına yerleştirildi. Yük kalıp gören yüzeylere uygulandı.

6.3.3.1.3. Beton Basınç Dayanımının Belirlenmesi

Beton basınç dayanımı tayini deneyinde aletin yükleme hızının 0.2 MPa/s-1.0 MPa/s arasında olması istenir. $A_c = 150 \times 150 = 22500 \text{ mm}^2$ için yükleme hızı darbe etkisi yaratmayacak şekilde 13.5 kN/s olarak seçildi.

Kırılan numunelerin kırılma tiplerine bakıldı. Herhangi bir anormallik gözlenmedi.

Deney numunelerinin hidrolik basınç test aletinde kırılması ile elde edilen maksimum kırılma yükleri Tablo 6.14’dedir. Bu değerler kullanılarak basınç dayanımı (6.1) bağıntısı ile hesaplandı. Elde edilen basınç dayanımları Tablo 6.15’tedir.

$$f_c = F_{max}/A_c \quad (6.1)$$

Tablo 6.14: Küp numuneler kırılma yükleri.

Kırılma Yükleri (kN)				
	Numune Numarası			
Üretim Kodu	1	2	3	Ortalama
C4500	1154.25	-	1180.80	1167.53
C4510	1107.23	1112.18	1119.38	1112.93
C4515	1022.18	1008.90	981.00	1004.03
C4520	956.03	970.43	942.98	956.48
C4520k	1129.95	1114.43	1118.48	1120.95
C5500	1018.80	957.15	1021.50	999.15
C5510	852.30	846.90	878.85	859.35
C5515	759.38	846.45	740.48	782.10
C5520	761.85	771.75	781.43	771.68
C5520k	855.45	885.60	868.05	869.70
C6500	776.93	769.50	771.30	772.58
C6510	636.98	621.68	645.53	634.73
C6515	555.98	567.68	564.30	565.99
C6520	564.98	561.83	561.15	562.65
C6520k	680.40	678.83	695.48	684.90

Tablo 6.15: Küp numuneler basınç dayanımları.

Basınç Dayanımı (MPa)					Kontrol Numunesine Göre Fark	Kontrol Numunesine Göre Fark (%)
	Numune Numarası					
Üretim Kodu	1	2	3	Ortalama		
C4500	51.30	-	52.48	51.89	0.00	0.00
C4510	49.21	49.43	49.75	49.46	2.43	4.68
C4515	45.43	44.84	43.60	44.62	7.27	14.00
C4520	42.49	43.13	41.91	42.51	9.38	18.08
C4520k	50.22	49.53	49.71	49.82	2.07	3.99
C5500	45.28	42.54	45.40	44.41	0.00	0.00
C5510	37.88	37.64	39.06	38.19	6.21	13.99
C5515	33.75	37.62	32.91	34.76	9.65	21.72
C5520	33.86	34.30	34.73	34.30	10.11	22.77
C5520k	38.02	39.36	38.58	38.65	5.75	12.96
C6500	34.53	34.20	34.28	34.34	0.00	0.00
C6510	28.31	27.63	28.69	28.21	6.13	17.84
C6515	24.71	25.23	25.08	25.16	9.18	26.74
C6520	25.11	24.97	24.94	25.01	9.33	27.17
C6520k	30.24	30.17	30.91	30.44	3.90	11.35

C4520 üretim kodlu 2 numaralı numuneye ait basınç dayanımı testinin sonucunu gösteren örnek görsel Şekil 6.14'tedir.

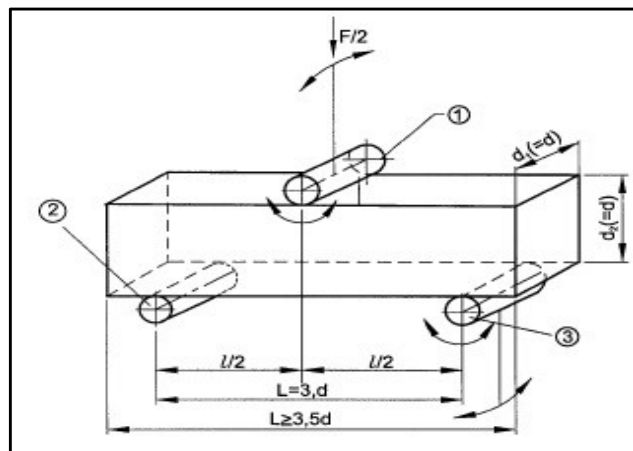


Şekil 6.14: Basınç dayanımı test sonucuna ait örnek görsel.

6.3.3.1.4. Betonun Eğilmede Çekme Dayanımının Belirlenmesi

Bu çalışma kapsamında orta noktasından yüklenmiş basit kiriş metodu kullanılarak betonun eğilme özelliği tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla hazırlanan kiriş numunelerin eğilmeye karşı göstereceği davranış gözlemlendi, eğilme test düzeneğindeki kırılma yükleri belirlendi ve çekme dayanımları hesaplandı.

Şekil 6.15'te gösterilen deney düzeneğinde 1 numaralı parça yükleme silindiri, 2 ve 3 numaralı parçalarda mesnet silindirleridir. Her üç silindirde kendi eksenini etrafında serbestçe dönebilen elemanlardır. Yükleme hızı darbe etkisi yaratmayacak şekilde 1.0 kN/s olarak seçildi.



Şekil 6.15: Kiriş Eğilme deneyi yükleme düzeneği (orta noktadan yükleme).

Eğilmede çekme dayanımı (N/mm²) cinsinden (f_{ct}) aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$f_{ct} = (3 * F_{max} * L) / (2 * d_1 * d_2^2) \quad (6.2)$$

Kiriş numunenin ebatları:

- L = 300 mm
- d₁ = 100 mm
- d₂ = 100 mm

Kiriş deneyi maksimum kırılma yüklerini ve buna bağlı olarak hesaplanan çekme dayanımları sırasıyla Tablo 6.16. ve Tablo 6.17’dedir.

Tablo 6.16: Kiriş deneyi kırılma yükleri.

3 Noktalı Eğilme Deneyi Kırılma Yükleri (kN)				
	Numune Numarası			
Üretim Kodu	1	2	3	Ortalama
C4500	17.93	17.77	16.76	17.49
C5500	14.43	14.57	16.38	15.13
C6500	12.08	11.2	12.91	12.06
C4520k	14.87	16.67	17.3	16.28
C5520k	16.06	14.49	15.42	15.32
C6520k	10.02	14.18	11.15	11.78

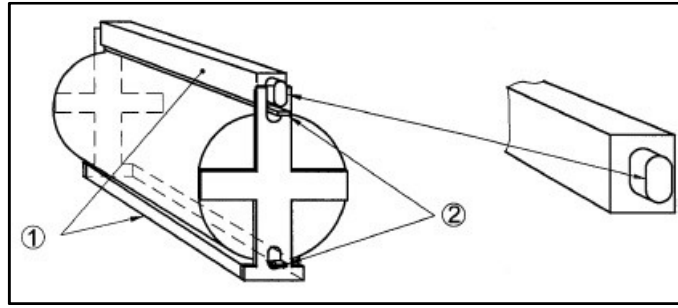
Tablo 6.17: Kiriş deneyi çekme dayanımları.

3 Noktalı Eğilme Deneyi Çekme Dayanımları (MPa)				
	Numune Numarası			
Üretim Kodu	1	2	3	Ortalama
C4500	8.07	8.00	7.54	7.87
C4520k	6.69	7.50	7.79	7.33
C5500	6.49	6.56	7.37	6.81
C5520k	7.23	6.52	6.94	6.90
C6500	5.44	5.04	5.81	5.43
C6520k	4.51	6.38	5.02	5.30

6.3.3.1.5. Betonun Yarmada Çekme Dayanımının Belirlenmesi

100 mm çapında ve 200 yüksekliğindeki numuneler bir sabitleme aparatı kullanılarak yatay olarak sabitlenmiş bir şekilde yükleme tablasına merkezi olarak yerleştirildi.

Şekil 6.16' gösterilen deney düzeneğinde 1 numaralı parça çelik yükleme elemanı, 2 numaralı parça sert mukavvadan yapılmış sıkıştırma şerididir. Sıkıştırma şeridi her kullanımdan sonra değiştirildi. Yükleme hızı darbe etkisi yaratmayacak şekilde 1.3 kN/s olarak belirlendi.



Şekil 6.16: Yarmada çekme dayanımı test düzeneği.

Tablo 6.18: Yarmada çekme deneyi kırılma yükleri.

	Yarmada Çekme Deneyi Kırılma Yükleri (kN)				
	Numune Numarası				
Üretim Kodu	1	2	3	4	Ortalama
C4500	157.47	142.76	155.14	149.92	151.32
C5500	117.58	139.30	140.34	131.76	132.25
C6500	111.72	99.89	116.06	-	109.22
C4520k	149.24	142.42	127.11	-	139.59
C5520k	126.59	124.24	123.77	119.28	123.47
C6520k	92.08	97.46	81.73	97.36	92.16

Silindir yarma deneyi maksimum kırılma yüklerini ve buna bağlı olarak hesaplanan çekme dayanımları sırasıyla Tablo 6.18 ve Tablo 6.19'dadır.

Tablo 6.19: Yarmada çekme deneyi çekme dayanımları.

	Yarmada Çekme Deneyi Çekme Dayanımlar (MPa)				
	Numune Numarası				
Üretim Kodu	1	2	3	4	Ortalama
C4500	5.01	4.54	4.94	4.77	4.82
C4520k	4.75	4.53	4.05	-	4.44
C5500	3.74	4.43	4.47	4.19	4.21
C5520k	4.03	3.95	3.94	3.80	3.93
C6500	3.56	3.18	3.69	-	3.48
C6520k	2.93	3.10	2.60	3.10	2.93

C4500 üretim kodlu 2 numaralı numuneye ait yarmada çekme dayanımı testinin sonucunu gösteren örnek görsel Şekil 6.17’dedir.



Şekil 6.17: Yarmada çekme dayanımı test sonucuna ait örnek görsel.



Şekil 6.18: Yarmada çekme dayanımı test düzeneği.

6.3.3.2. Tahribatsız Yöntemlerle Basınç Dayanımı Deneyleri

Bu çalışma kapsamında da beton küp numunelerin kırım öncesi betona zarar vermeden dayanımlarını belirlemek ve kırım neticesinde elde edilen sonuçlarla karşılaştırmak için “Beton Yüzey Sertliği Yöntemi” (Schmidt Çekici Beton Test Yöntemi) kullanılmıştır.

Küp numuneler basınç dayanımı test düzeneğine yerleştirildi ve test başlatıldı. Tahmini kırılma yükünün %10-%15 ulaşıldığında test cihazı durdurularak beklemeye alındı. Üzerine basınç yükü uygulanmış olan numunenin dışa bakan yüzeyinde birbirinden farklılık 10 adet noktaya schmidt çekici ile uygulama yapıldı ve değerler okundu. Okunan bu değerler aşağıdaki tablolarda sunulmuştur. Daha sonra basınç deneyi cihazı yeniden çalıştırılarak küp numuneler kırıldı.

Tablo 6.20: Su/Çimento oranı 0.45 olan betonların Schmidt Çekici okumaları.

Okuma No	C4500			C4515			C4520			C4520k		
	No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3
1	34	32	-	26	33	32	27	26	29	31	36	35
2	36	34	-	27	33	34	28	30	29	32	36	37
3	38	37	-	29	34	35	30	30	30	35	36	37
4	38	38	-	31	35	35	31	30	30	36	36	37
5	38	38	-	32	35	37	31	31	31	37	38	39
6	39	39	-	33	35	37	31	32	31	37	38	40
7	40	40	-	34	36	37	32	32	32	38	39	40
8	40	40	-	36	37	37	32	34	33	38	39	40
9	40	41	-	37	38	38	34	35	34	38	39	40
10	40	41	-	38	39	39	34	36	34	41	40	41
Ortalama	38	38	-	32	36	36	31	32	31	36	38	39
Genel Ortalama	38.15			34.63			31.30			37.53		

Tablo 6.21: Su/Çimento oranı 0.55 olan betonların Schmidt Çekici okumaları.

Okuma No	C5500			C5515			C5520			C5520k		
	N _{0.1}	N _{0.2}	N _{0.3}	N _{0.1}	N _{0.2}	N _{0.3}	N _{0.1}	N _{0.2}	N _{0.3}	N _{0.1}	N _{0.2}	N _{0.3}
1	31	29	29	26	28	27	23	26	25	28	25	25
2	32	30	30	27	28	28	24	27	25	28	28	25
3	32	31	30	27	28	29	24	27	25	28	28	25
4	32	31	31	27	29	29	24	28	26	30	29	28
5	32	32	31	27	29	30	25	28	26	30	30	28
6	33	33	31	28	30	31	25	28	27	31	31	29
7	33	34	32	29	31	31	27	29	27	31	31	29
8	34	35	32	29	31	31	27	29	28	32	32	31
9	34	36	33	31	31	31	27	29	29	32	32	32
10	34	36	34	31	33	-	27	30	29	34	32	32
Ortalama	33	33	31	28	29	30	25	28	27	30	30	28
Genel Ortalama	32.23			29.05			26.70			29.53		

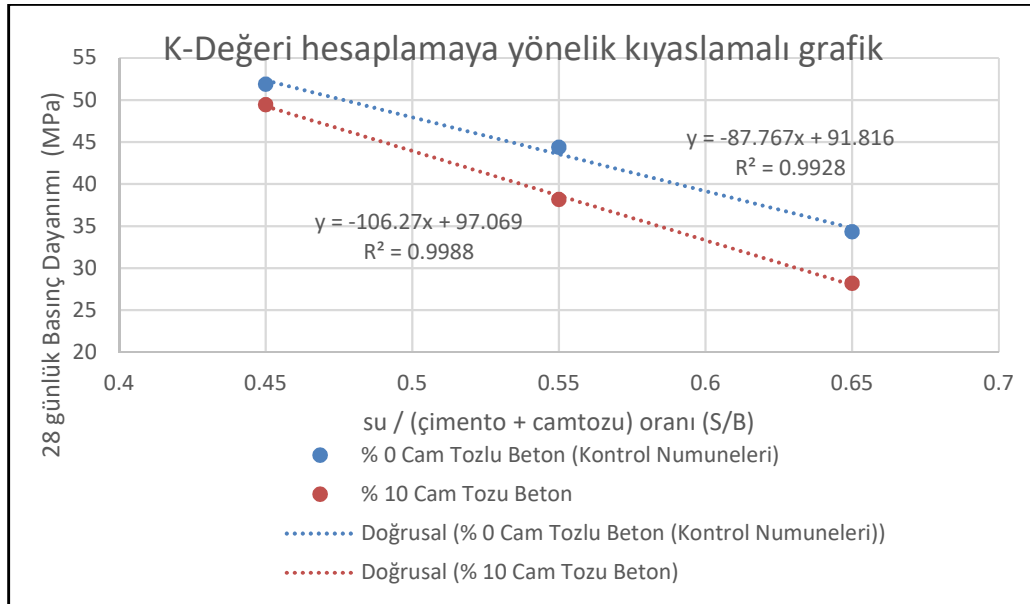
Tablo 6.22: Su/Çimento oranı 0.65 olan betonların Schmidt Çekici okumaları.

Okuma No	C6500			C6515			C6520			C6520k		
	N _{0.1}	N _{0.2}	N _{0.3}	N _{0.1}	N _{0.2}	N _{0.3}	N _{0.1}	N _{0.2}	N _{0.3}	N _{0.1}	N _{0.2}	N _{0.3}
1	25	23	22	21	20	22	20	19	19	23	22	22
2	25	23	24	22	21	24	20	20	19	23	22	25
3	25	24	24	23	22	24	21	21	19	25	22	25
4	26	24	24	24	23	25	21	22	20	25	23	26
5	26	25	24	24	23	25	21	22	20	25	24	26
6	28	26	25	25	23	25	21	22	21	25	25	27
7	28	26	25	25	23	25	21	23	22	26	25	28
8	29	26	27	25	23	25	22	23	23	28	27	28
9	30	26	28	25	24	26	23	23	23	28	28	30
10	34	26	29	27	24	26	23	23	25	29	28	30
Ortalama	28	25	25	24	23	25	21	22	21	26	25	27
Genel Ortalama	25.90			23.80			21.40			25.67		

6.4. K-Değerinin Hesaplanması

Tablo 6.23: Kontrol numuneleri ile % 10 cam tozu ikameli numuneler arasındaki basınç dayanımı ilişkisi tablosu.

Su-Çimento Oranı (S/Ç)	Basınç Dayanımı (MPa)	
	Kontrol Numuneleri	% 10 Cam Tozu İkameli Numuneler
0.45	51.89	49.46
0.55	44.41	38.19
0.65	34.34	28.21



Şekil 6.19: Kontrol numuneleri ile % 10 cam tozu ikameli numuneler arasındaki basınç dayanımı ilişkisi grafiği.

Üç farklı s/ç ve %10 cam tozu ikamesi için k değerleri aşağıdaki eşitliklerden yararlanılarak hesaplandı.

$$-87.767 \cdot \omega_o + 91.816 = -106.27 \cdot W_g / (\zeta + g) + 97.069 \quad (6.3)$$

$$g / (\zeta + k \cdot g) = \omega_o \quad (6.4)$$

$$W_g = \omega_o \cdot (\zeta + k \cdot g) \quad (6.5)$$

$$[\omega_o \cdot (\zeta + k \cdot g)] / (\zeta + g) = \quad (6.6)$$

$$[\omega_o*(1+k*1/9)]/(1+1/9) = [\omega_o*(9+k)]/10 \quad (6.7)$$

$$\omega_o*[-87.767+10.627*(9+k)] = 5.253 \quad (6.8)$$

$$7.876+10.627*k = 5.253/\omega_o \quad (6.9)$$

$$k = 0.494/\omega_o-0.741 \quad (6.10)$$

$$\bullet \omega_o = 0.45 \rightarrow k = 0.357$$

$$\bullet \omega_o = 0.55 \rightarrow k = 0.157$$

$$\bullet \omega_o = 0.65 \rightarrow k = 0.019$$

6.5. Seçilen K-Değeri ve Cam Tozu – Çimento Oranına Göre Beton Karışım Oranlarının Belirlenmesi

k = 0.20 ve g/ç=0.25 için

$$\zeta = \zeta + k*g = \zeta + k*(g/\zeta)*\zeta = \zeta + 0.20*0.25*\zeta = 1.05*\zeta \quad (6.11)$$

$$\zeta = \zeta / 1.05 \quad (6.12)$$

Tablo 6.24: Kontrol betonu karışım oranları.

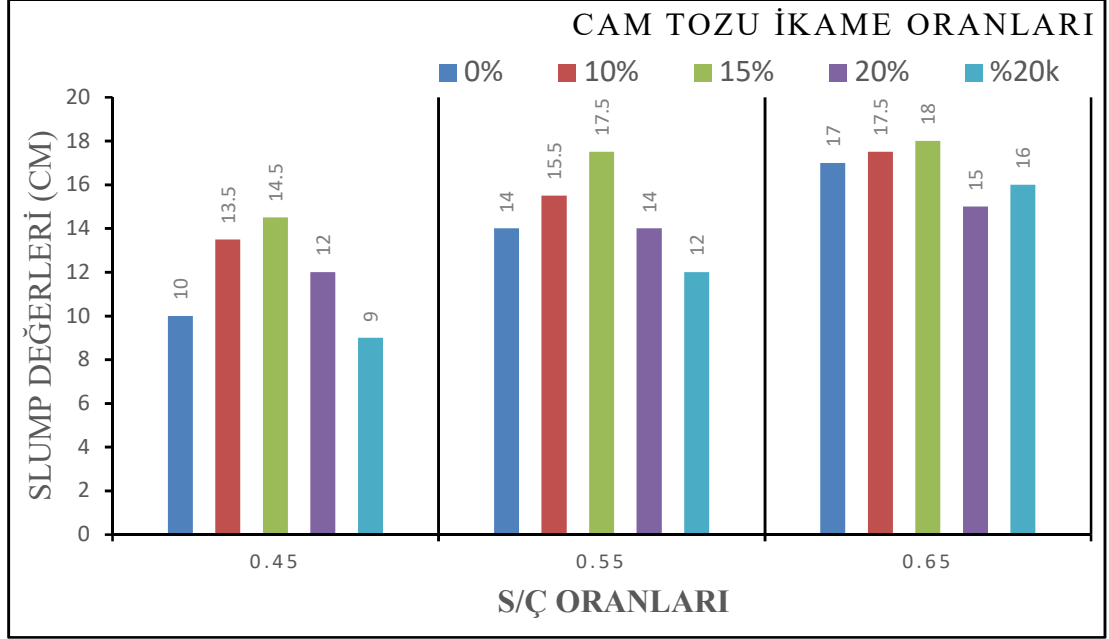
Kontrol Beton Karışım Oranları				
Karışım Tipi		C4500	C5500	C6500
Çimento Miktarı (Ç)	(kg/m3)	460	380	320
Cam tozu (g)	(kg/m3)	0	0	0
Su Miktarı (s)	(kg/m3)	207	209	208
Doğal Kum	(kg/m3)	368.1	381.6	393.2
Kırma Kum	(kg/m3)	368.1	381.6	393.2
KT-1	(kg/m3)	502	520.4	536.2
KT-2	(kg/m3)	435.1	451	464.7
Toplam Agrega Miktarı	(kg/m3)	1673.3	1734.6	1787.3

Tablo 6.25: Cam tozu ikameli beton karışım oranları.

Cam Tozu İkameli Beton Karışım Oranları				
Karışım Tipi		C4520(k)	C5520(k)	C6520(k)
Çimento Miktarı (ç)	(kg/m ³)	438.1	361.9	304.8
Cam tozu (g)	(kg/m ³)	109.5	90.5	76.2
Su Miktarı (s)	(kg/m ³)	207	209	208
k		0.2	0.2	0.2
k*g	(kg/m ³)	21.9	18.1	15.2
ç+k*g	(kg/m ³)	460.0	380.0	320.0
weff s/(ç+k*g)		0.45	0.55	0.65
Doğal Kum	(kg/m ³)	368.1	381.6	393.2
Kırma Kum	(kg/m ³)	368.1	381.6	393.2
KT-1	(kg/m ³)	502	520.4	536.2
KT-2	(kg/m ³)	435.1	451	464.7
Toplam Agrega Miktarı	(kg/m ³)	1673.3	1734.6	1787.3

7. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

7.1. Taze Beton Deney Sonuçları



Şekil 7.1: Taze beton slump değeri sonuçları.

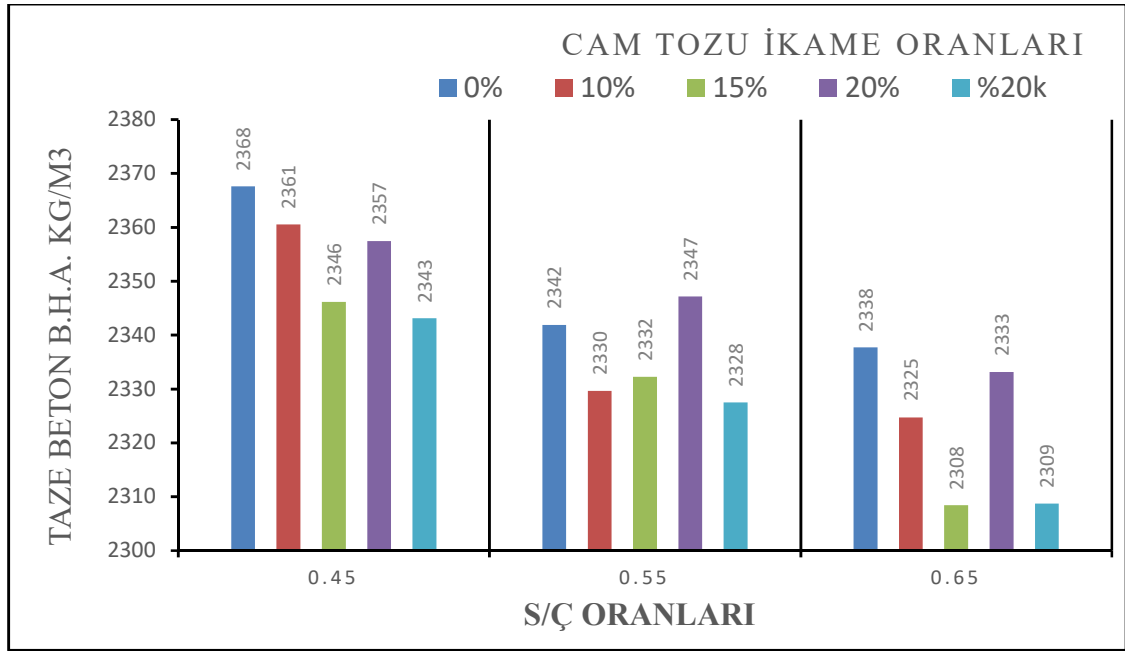
Üretilen beton numuneler üzerinde taze beton deneyleri yapılmış ve karışımlar kendi aralarında mukayese edilmiştir.

Şekil 7.1’de taze beton slump değeri sonuçları görünmektedir. Buna göre tüm s/ç için %15 cam tozu oranına kadar cam tozu arttırıldıkça slump değerinin arttığı ancak %20 cam tozu oranında slump değerinin düştüğü gözlemlenmiştir.

Ayrıca tüm beton karışımları için etkinlik katsayısı ile belirlenmiş %20k (k değeri 0.2 olan) karışım numunelerinde slump değerinin kontrol numunesine göre düştüğü gözlemlenmiştir.

Bu karışımlarda slump değerinin düşmesinin nedeni betonun incelik oranının artmasının olduğu düşünülebilir.

Aynı cam tozu ikame oranlarına bakıldığında s/ç oranı arttıkça slump değerinin arttığı görülmüştür. Bunun da karışımdaki su içeriğinin artmasından kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 7.2: Taze beton birim hacim ağırlığı deney sonuçları.

Şekil 7.2’de taze beton birim hacim ağırlığı deney sonuçları görünmektedir. Buna göre tüm s/ç için %15 cam tozu oranına kadar cam tozu artırıldıkça taze beton birim hacim ağırlığı değerinin azaldığı ancak %20 cam tozu oranında taze beton birim hacim ağırlığı değerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Ayrıca tüm beton karışımları için etkinlik katsayısı ile belirlenmiş %20k (k değeri 0.2 olan) karışım numunelerinde taze beton birim hacim ağırlığı değerinin kontrol numunesine göre düştüğü gözlemlenmiştir.

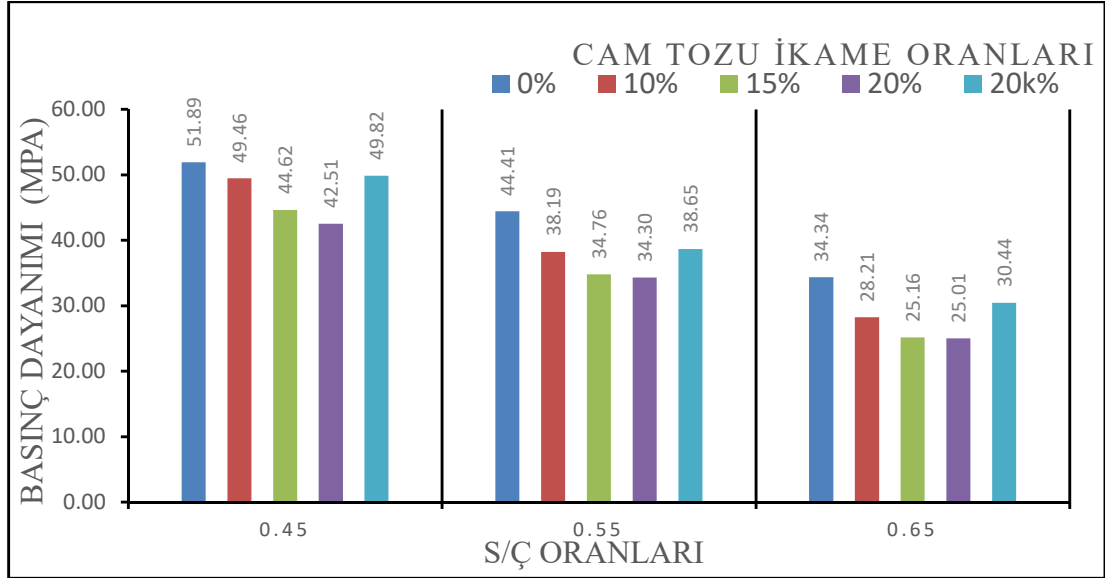
7.2. Basınç Dayanımı Test Sonuçları

Şekil 7.3’de basınç dayanımı test sonuçları karşılaştırmalı grafiği ve Şekil 7.4’te basınç dayanımı test sonuçları kontrol numunesine göre farkını gösteren grafik görünmektedir.

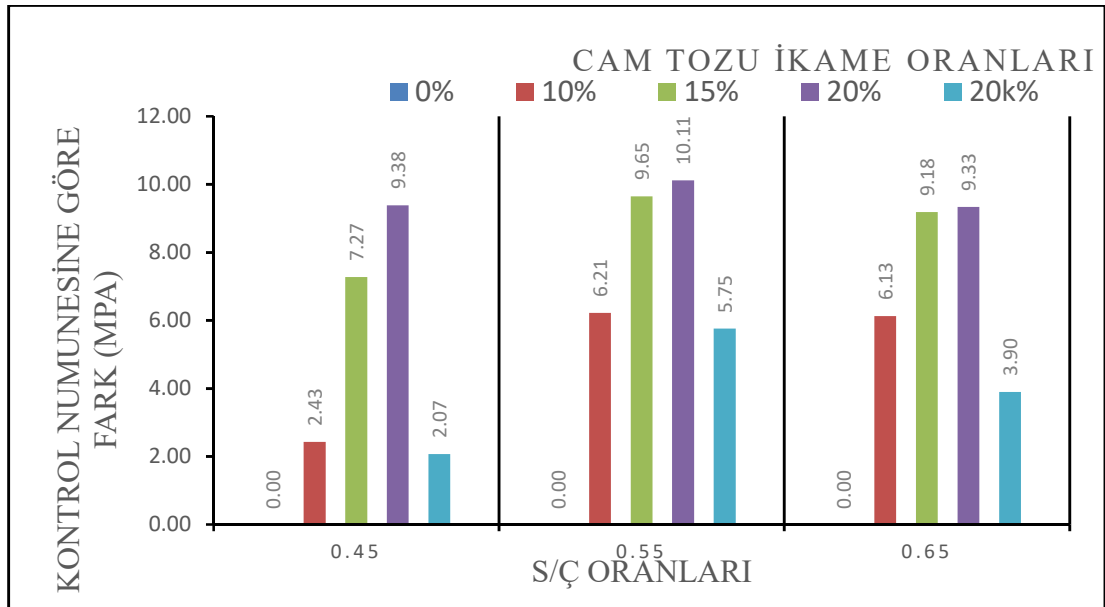
Tüm cam tozu ikame oranlarındaki basınç dayanımının kontrol numunesine göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Fakat etkinlik katsayısı ile belirlenmiş %20k (k değeri 0.2 olan) karışım numuneleri diğer cam tozu içeren betonlara göre daha yüksek basınç dayanımı vermiştir.

Şekil 7.4’teki grafiğe göre s/ç oranı düşük olduğunda %10 cam tozu ikame oranı ile hazırlanan numunelerin basınç dayanımı değerinin kontrol numunesine çok yakın

olduğu gözlemlenmektedir. Aynı cam tozu ikame oranında, 0.45 s/ç için kontrol numunesi ile arasındaki basınç dayanımı farkı %2.43'tür ve yüksek s/ç oranlarında bu değer daha yüksek olup, 0.55 s/ç için %6.21 ve 0.65 s/ç için %6.13'tür. Etkinlik katsayısı ile belirlenmiş %20k (k değeri 0.2 olan) karışım numunelerinde de durum benzerdir ve 0.45 s/ç için kontrol numunesi ile arasındaki basınç dayanımı farkı %2.07'dir ve s/ç oranı yükseltildince basınç dayanımı farkı da artmıştır.

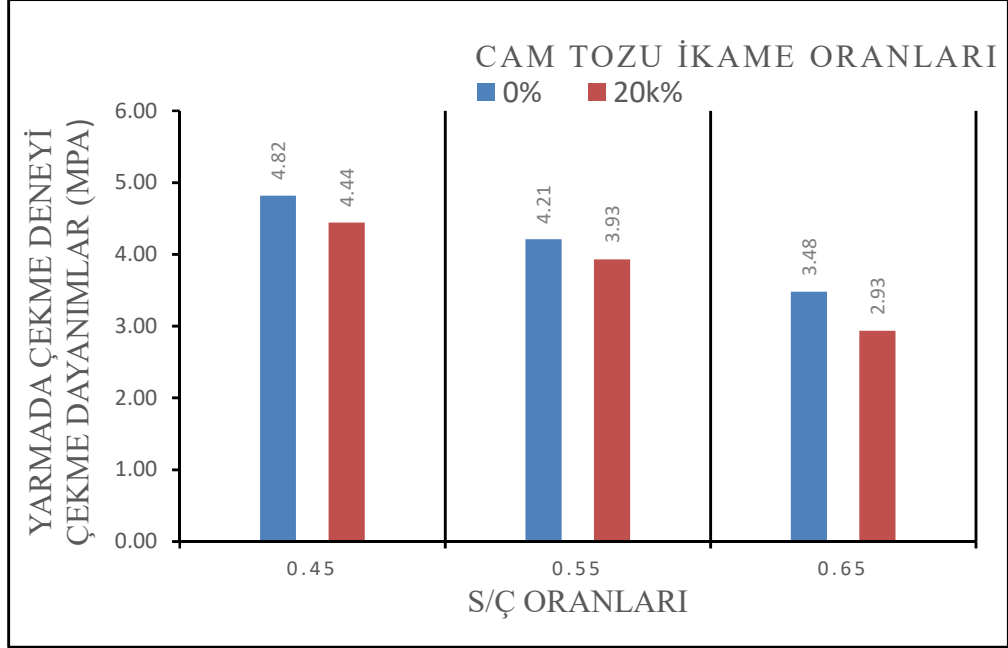


Şekil 7.3: Basınç dayanımı test sonuçları karşılaştırmalı grafiği.

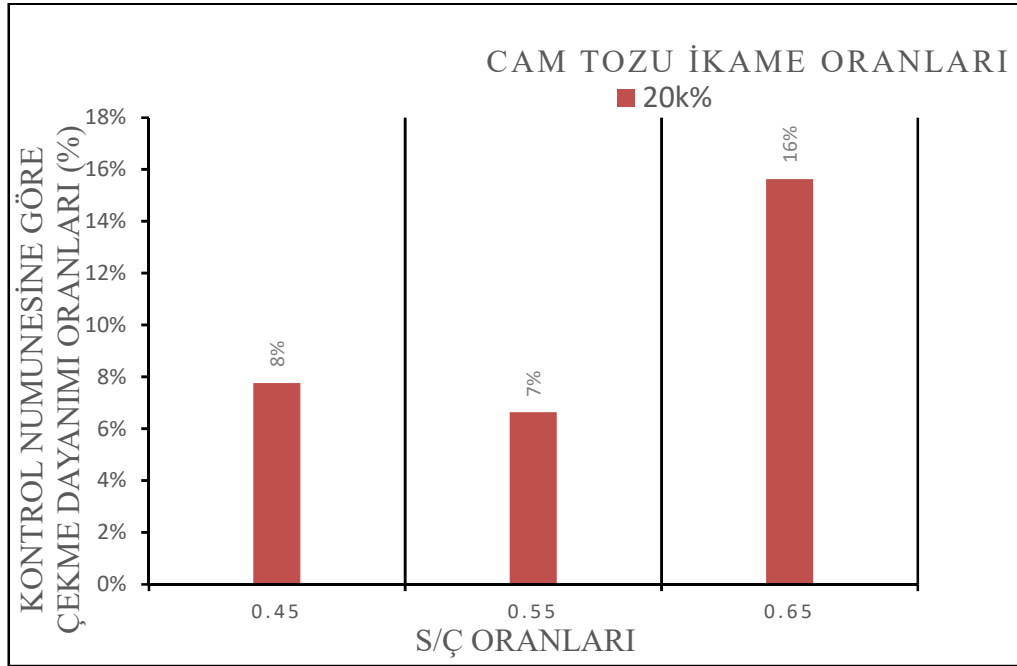


Şekil 7.4: Basınç dayanımı test sonuçları kontrol numunesine göre farkını gösteren grafik.

7.3. Yarmada Çekme Dayanımı Test Sonuçları



Şekil 7.5: Yarmada çekme dayanımı test sonuçları karşılaştırmalı grafiği.



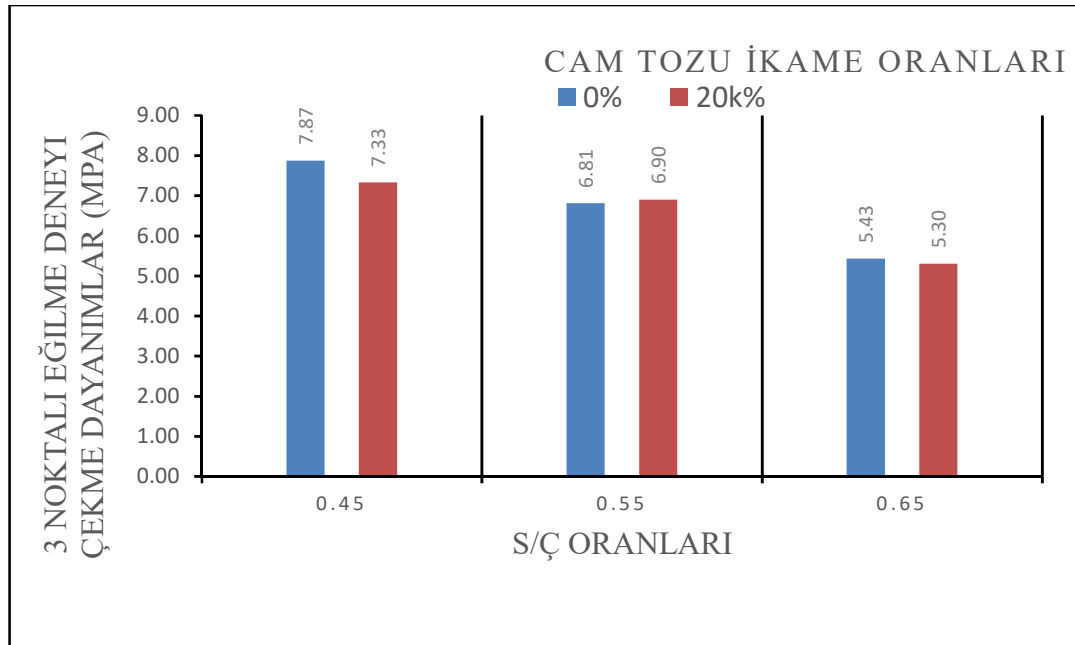
Şekil 7.6: Yarmada çekme dayanımı test sonuçları temel alındığında, k değeri 0.2 olan numunelerin kontrol numunesine göre çekme dayanımı farkı oranları (%).

Üretilen silindirik beton numuneler üzerinde sertleşmiş beton deneyleri yapılmış ve karışımlar kendi aralarında mukayese edilmiştir.

Şekil 7.5'te yarmada çekme dayanımı test sonuçları görünmektedir. Tüm cam tozu ikame oranlarında s/ç oranı arttıkça çekme dayanımının düştüğü gözlemlenmiştir.

Şekil 7.6'da ise yarmada çekme dayanımı test sonuçları temel alındığında, k değeri 0.2 olan numunelerin kontrol numunesine göre çekme dayanımı farkı oranları görünmektedir. Buna göre en düşük fark 0.55 s/ç oranında ve en büyük fark da 0.65 s/ç oranında gözlemlenmiştir. Ancak 0.45 ve 0.55 s/ç oranlarındaki, kontrol numunesine göre çekme dayanımı farkı oranları birbirine çok yakınken 0.65 s/ç oranında bu değer 0.45 ve 0.55 s/ç oranlarındakinden yüksek olarak elde edilmiştir.

7.4. Eğilme Dayanımı Test Sonuçları

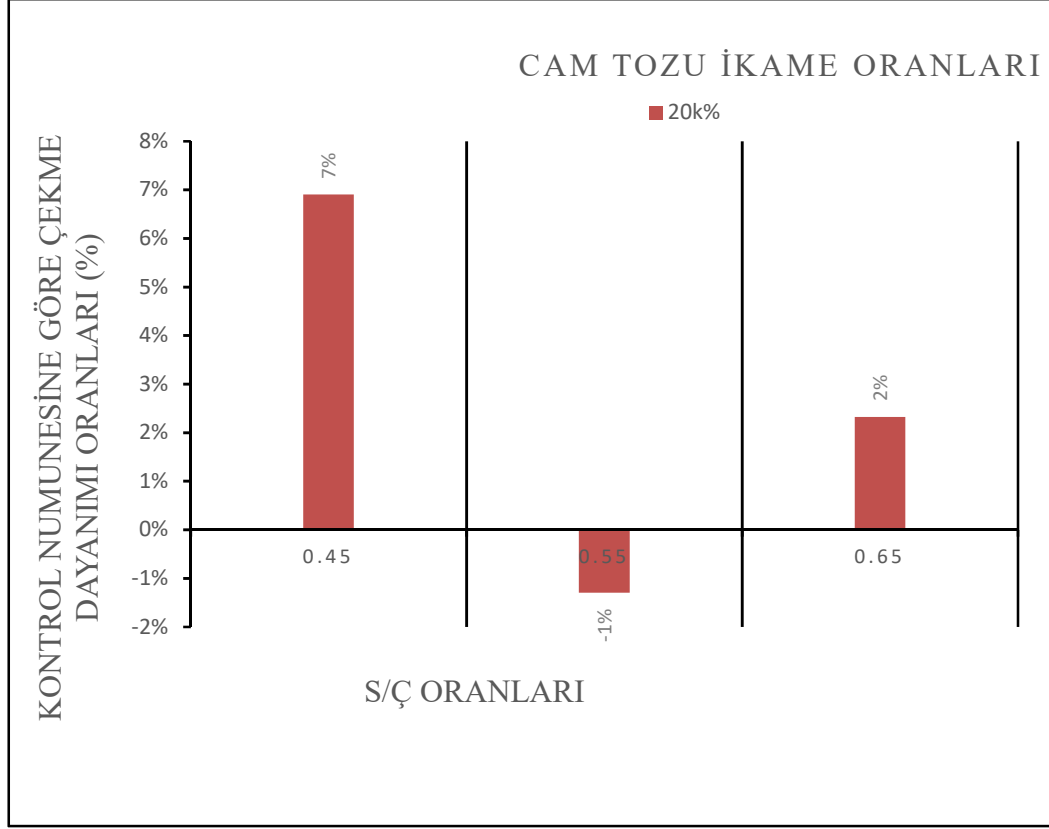


Şekil 7.7: Eğilme dayanımı test sonuçları karşılaştırmalı grafiği.

Üretilen kiriş beton numuneler üzerinde sertleşmiş beton deneyleri yapılmış (3 noktalı eğilme deneyi) ve karışımlar kendi aralarında mukayese edilmiştir.

Şekil 7.7'da eğilmede çekme dayanımı test sonuçları görünmektedir. Tüm cam tozu ikame oranlarında s/ç oranı arttıkça çekme dayanımının düştüğü gözlemlenmiştir.

Şekil 7.8'de ise eğilmede çekme dayanımı test sonuçları temel alındığında, k değeri 0.2 olan numunelerin kontrol numunesine göre çekme dayanımı farkı oranları görünmektedir. Buna göre en düşük fark 0.55 s/ç oranında oluşmuş ve çekme dayanımı artmıştır, buna karşın en büyük fark da 0.45 s/ç oranında oluşmuş ve çekme dayanımı% 7 nispetinde düşmüştür.



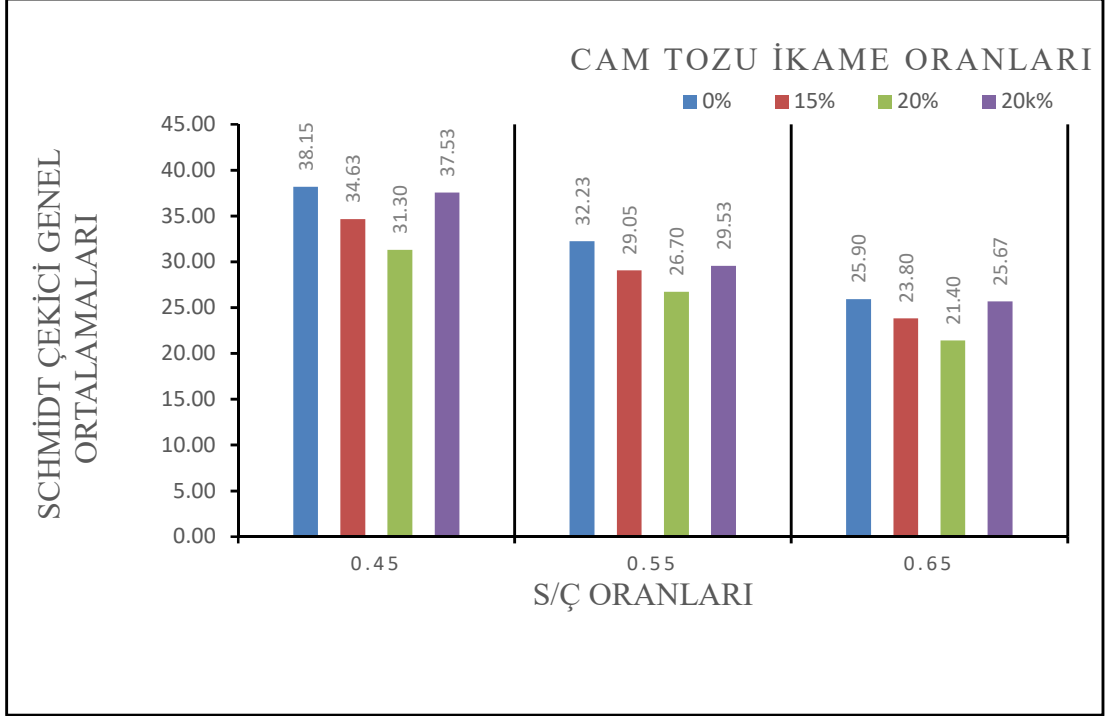
Şekil 7.8: Eğilme dayanımı test sonuçları temel alındığında, k değeri 0.2 olan numunelerin kontrol numunesine göre çekme dayanımı farkı oranları (%).

7.5. Schmidt Çekici Test Sonuçları

Üretilen küp beton numuneler üzerinde tahribatsız deneyler (schmidt çekici) yapılmış ve numuneler kendi aralarında mukayese edilmiştir.

Şekil 7.9’da schmidt çekici test sonuçları karşılaştırmalı grafiği verilmiştir. Schmidt çekici test sonuçları basınç dayanımları ile yakın bir ilişki vermektedir. 0.55 s/ç oranında aradaki farkın oranı daha fazla olarak gözlemlenirken 0.45 ve 0.65 s/ç oranında aradaki farkın oranı daha düşük olarak gözlemlenmiştir. Basınç dayanımında elde edilen değerlerle paralel değerler elde edilmiştir. Zaten schmidt çekicinin yapılma amacı da betonun basınç dayanımını tahribatsız olarak tahmin etmektir.

Tüm cam tozu ikame oranlarındaki schmidt çekici okumalarının kontrol numunesine göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Fakat etkinlik katsayısı ile belirlenmiş %20k (k değeri 0.2 olan) karışım numuneleri diğer cam tozu içeren betonlara göre daha yüksek schmidt çekici okumaları vermiştir.



Şekil 7.9: Schmidt çekici test sonuçları karşılaştırmalı grafiği.

8. SONUÇ ve ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında 3 farklı s/ç oranında (0.45, 0.55 ve 0.65) ve farklı cam tozu ikame oranlarında (%10, %15 ve %20) beton numuneler üretilmiştir. Üretilen kontrol numuneleri (%0 cam tozu ikamesi) kullanılarak k değeri ($k=0.2$) seçilmiştir. Seçilen k değeri ve atık cam tozu oranına ($g/ç=0.25$) göre yeni numuneler (C4520k, C5520k ve C6520k) hazırlanmış, taze beton deneyleri ile tahribatlı ve tahribatsız sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır. Bunun için taze betonda birim hacim ağırlığı ölçümleri ve slump deneyleri yapılmış, sertleşmiş betonda da 28 günlük kür koşulları sonrasında schmidt çekici okumaları, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve eğilme dayanımı sonuçları incelenmiştir.

Atık cam tozu kullanımı betonun slump değerini belirli bir noktaya kadar artırmakta sonrasında tekrar düşürmektedir. Şöyle ki kontrol betonu ile mukayese edildiğinde 0.45 s/ç oranı için %15 cam tozu ikame oranında slump değerinin % 45 arttığı gözlemlenmiştir. Fakat 0.65 s/ç oranı için %15 cam tozu ikame oranında slump değerinin sadece % 6 arttığı hatta k değeri 0.2 olan karışımın slump değerinin kontrol betonuna kıyasla düştüğü gözlemlenmiştir. Böylece düşük s/ç oranındaki betonlarda belirli bir miktarda atık cam tozu kullanımının betonda işlenebilirliği artırdığı ancak yüksek s/ç oranındaki betonlarda slump değerine ve dolayısıyla işlenebilirliğe etkisinin çok olmadığı söylenebilir.

Atık cam tozu kullanımı taze beton birim hacim ağırlığında da değişime neden olmaktadır. Tüm s/ç için %15 cam tozu oranına kadar cam tozu arttırıldıkça taze beton birim hacim ağırlığı değerleri azalmıştır. Ancak %20 cam tozu oranında taze beton birim hacim ağırlığının diğer cam tozu ikame oranlarına göre daha yüksek olduğu ve 0.55 s/ç oranında kontrol betonunun da üstüne çıktığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni olarak da, atık cam tozu kullanımının betonun boşluk oranını ve inceliğini değiştirmesi söylenebilir.

Tüm cam tozu ikame oranlarındaki basınç dayanımının kontrol numunesi basınç dayanımına göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Kontrol numunesine en yakın değerler 0.45 s/ç oranında elde edilmiştir. Karışımlarda s/ç oranı yükseldikçe, kontrol numunesine kıyasla cam tozu ikameli betonlarda basınç dayanımı farklarının da oran olarak arttığı gözlemlenmiştir. Yapılan kıyaslamalarda cam tozu ikamesinin düşük s/ç

oranında basınç dayanımı bakımından daha iyi sonuç verdiği yüksek s/ç oranlarında olumsuz etki oluşturduğu söylenebilir.

Çekme dayanımları s/ç oranı arttıkça düşmektedir. Kontrol numunesine göre çekme dayanımı farkları 0.45 ve 0.55 s/ç oranlarında sırasıyla %8 ve % 7 düşük çıkmıştır. Bu değer 0.65 s/ç oranı için %16 mertebesinde dir. Bu durum neticesinde de cam tozu ikamesinin düşük s/ç oranlarında yüksek s/ç oranlarına göre çekme dayanımını bakımından daha iyi sonuç verdiği söylenebilir.

Basınç dayanımında elde edilen değerlerle schmidt çekici okumalarının bir paralellik içinde olduğu görülmüştür. Schmidt çekici test sonuçları basınç dayanımları ile yakın bir ilişki içerisinde olduğu cam tozu ikame oranlarının ve s/ç oranlarının değiştirilmesinin bu uyumu bozmadığı söylenebilir.

Genel olarak cam tozunun betonun mekanik özelliklerine etkisinde s/ç oranının belirleyici rol oynadığı gözlemlenmiştir. Halen yürürlükteki standartlarda puzolanik malzemeler için (uçucu kül gibi) tek bir k değeri alınması yeterli olurken, benzer yaklaşımla atık cam tozu için de tek bir k değerinin alınmasının uygun olmadığı görülmüştür. Sadece düşük s/ç oranlarında ve seçilmiş k değeri (k=0.2) ile beton karışımı yapılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Çimento hidrasyon tepkimesi sonucunda ortaya çıkan kireçle cam tozu bünyesindeki silikanın birleşip bağlayıcı madde oluşturduğu düşüncesinden hareketle, cam tozunun çimento tepkimesinden gelen kirece ihtiyaç duyduğunu ve bu sebeple tepkimenin daha geç olduğu söylenebilir. Standartlar ve şartnamelerde 28 günlük basınç dayanımı değeri esas alındığından bu tez kapsamında cam tozunun bağlayıcılık etkinliklerinin belirlenmesi için numuneler 28 günlük kür süresinin ardından deneylere tabi tutulmuştur. Başka bir çalışmada cam tozunun betonda çimento ikamesinin daha da geliştirilebilmesi bakımından farklı kür koşulları ve farklı zamanlarda (56 ve 91 gün gibi) deneyler yapılarak cam tozunun uzun vadede etkisi araştırılabilir. Farklı tip çimento ve agrega kullanımının yanı sıra farklı cam tozu kaynaklarından temin edilecek aktif silika içeriği daha yüksek, tane boyları çimentoya daha yakın ve yüksek kaliteli cam tozları ile çimento ikamesi olarak denenebilir.

Betonda atık cam tozu kullanılması durumunda çimento üretiminden kaynaklanan karbondioksit salınımı azaltılacak ve katı atık yönetimi bakımından çevresel bir sorunun önüne geçilmiş olacaktır ancak cam tozu ikamesinin ileri yaştaki beton dayanımlarına etkisinin ve betonun fiziksel ve kimyasal özelliklerine katkısının başka bir çalışmada araştırılması önerilir.

KAYNAKLAR

ACI, (2001), Protection of Metals in Concrete against Corrosion, ACI 222R, American Concrete Institute.

Akman M.S., (1990), “Yapı Malzemeleri”, Sayı:1408, 2. Baskı, İTÜ İnşaat Fakültesi Yayını, İstanbul.

Arioğlu E., Arioğlu N., Yılmaz A.O., (2006), “Beton Agregaları-Çözümlü Problemler-Bilgi Föyleri”, 2. Baskı, Evrim Yayınevi, İstanbul.

Atış C. D., Özcan F., Karahan O., Bilim C., Sevim U.K., Demir A., (2003), “Silis Dumanı Kullanımının Beton Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkisi” TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 426-2003/4.

Dikmen Ç., Saraçoğlu E., Durucan Z., Durak S., Sarıoğlu K., (2011), “Türkiye Çevre Durum Raporu”, Yayın no:11, Altan Matbaacılık.

Doremus R.H., (1994), “Glass Science” 2nd Edition”, John Wiley & Sons Incorporation.

Duran-Herrera A., Juarez C.A., Valdez P., Bentz D.P., (2011), “Evaluation of sustainable high-volume fly ash concretes”, Cement and Concrete Composites, Volume 33, Issue 1.

Erdemgil M., (1987), “Türkiye İnşaat Mühendisliği 9. Teknik Kongresi - 2. Cilt” S.497.

Gurer C., Akbulut H., Kürklü G., (2004), “İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm ve Bir Hammadde Kaynağı Olarak Farklı Yapı Malzemelerinin Yeniden Değerlendirilmesi” 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, Sayfa 28-36, İzmir, 13-14 Mayıs 2004.

Günay V., Yılmaz Ş., (2010), “Cam - Seramikler Bilim ve Teknolojisi”, 1. Baskı TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi.

Kocabağ D., (2000), “Cam Fırınları Malzemeler, Teknolojiler, Prosesler”, 1. Baskı, Etam A.Ş. Matbaa Tesisleri – Eskişehir.

Onaran K., (2006), “Malzeme Bilimi”, 10. Baskı, Bilim Teknik Yayınevi.

Oymael S., (2018), “Beton”, 1. Baskı, Birsan Yayınevi.

Öz H.Ö., (2017), “Atık Cam Tozu ve Yüksek Fırın Cürufunun İçeren Kendiliğinden Yerleşen Harçların Taze, Mekanik ve Durabilite Özellikleri”, KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20, 4.

Özcan U., Güngör S., (2019), “Sürdürülebilir Bir Yöntem / Betonda Puzolan Kullanımı” Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Sayı 15, S. 176-182.

Özel İhtisas Komisyonu Raporu, (2000), “İçme suyu, Kanalizasyon Arıtma Sistemleri ve Katı Atık Denetimi”, Yayın No: DPT:2503-ÖİK:524, Ankara.

Pekdemir D., Bayram O., (2015), “Cam Tozunun Tuğla Yapımında Kullanılabilme Olanaklarının İncelenmesi, MTA Genel Müdürlüğü, Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi” The 9th International Industrial Minerals Symposium, İzmir, Mayıs 2015.

Postacıoğlu B., (1975), “Bağlayıcı maddeler, Agregalar, Beton”, 1. Baskı, Teknik Üniversite Matbaası, Gümüşsuyu.

ResGaz, (1991), Katı Atıkların Kontrol Yönetmeliği, 14.03.1991Tarih, 20814 Sayılı Resmi Gazete.

Savcı S., Dikmen Ç.B., (2015), “İnşaat Sektöründe Geri Dönüşüm Kaynağı Olarak Cam Malzemelerin Yeniden Kullanımı”, 2nd International Sustainable Buildings Symposium, S.694-697, Ankara/Türkiye, 28-30 Mayıs 2015.

Sümer G., (2007), “Cam Teknolojisi”, 1. Baskı, Çağrı Ofset – Eskişehir.

Şimşek O., (2007), “Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri”, 2. Baskı, Seçkin Yayıncılık.

Toktay M., (1988), Effects Of Three Turkish Fly Ashes On The Heat Of Hydration Of PC-FA Pastes”, Cement And Concrete Research. Vol. 18, pp. 957-960, Printed in the USA.

Toktay M., (2018), “Cement and Concrete Mineral Admixtures”, 1st Edition, Henry Ling Limited.

TSE, (1985), Beton karışımı hesap esasları, TS 802, Türk Standartları Enstitüsü.

TSE, (1999), Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri için deneyler - Bölüm 3: Gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin tayini, TS EN 1097-3, Türk Standartları Enstitüsü.

TSE, (1999), Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini - eleme metodu, TS 3530 EN 933-1, Türk Standartları Enstitüsü.

TSE, (2002), Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 1: Deney numunesi ve kalıplarının şekil, boyut ve diğer özellikleri, TS EN 12390-1, Türk Standartları Enstitüsü.

TSE, (2002), Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin yapımı ve küre tâbi tutulması, TS EN 12390-2, Türk Standartları Enstitüsü.

TSE, (2002), Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini, TS EN 12390-5, Türk Standartları Enstitüsü.

TSE, (2002), Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 6: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini, TS EN 12390-6, Türk Standartları Enstitüsü.

TSE, (2002), Taze beton deneyleri - Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi, TS 12350-2, Türk Standartları Enstitüsü.

TSE, (2002), Taze beton deneyleri - Bölüm 6: Yoğunluk, TS 12350-6, Türk Standartları Enstitüsü.

TSE, (2003), Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini, TS EN 12390-3, Türk Standartları Enstitüsü.

TSE, (2012), Beton basınç deney numunelerinin hazırlanması, hızlandırılmış kürü ve basınç dayanım deneyi, TS 3323, Türk Standartları Enstitüsü.

TSE, (2013) Yapılarda betonun test edilmesi - Bölüm 2: Tahribatsız muayene- Geri tepme sayısının belirlenmesi, TS EN 12504-2, Türk Standartları Enstitüsü.

Uzun M., Çöğürtücü M.T., Keskin Ü.S., (2018), “Cam Tozunun Beton Basınç Dayanımına Etkisi”, Beykent Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Cilt Sayı:11/2.

Yalçın H., Gürü M., (2006), “Çimento ve Beton”, 1. Baskı, Palme Yayıncılık.

ÖZGEÇMİŞ

Levent YALÇIN 1973 yılında Kayseri’de doğdu. 1991 yılında girdiği İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden 1995 yılında mezun oldu. 2003 yılında girdiği Anadolu Üniversitesi İşletme Bölümünden 2007 yılında mezun oldu. 1995-2013 yılları arasında farklı özel şirketlerde proje müdürlüğü görevlerinde bulundu. Yüksek lisans eğitimine 2018 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Deprem ve Yapı Mühendisliği Programında başladı.

2013 yılından beri proje ve uygulama denetçisi olarak çalışmakla beraber, 2015 yılından beri de İstanbul Şehir Üniversitesinde öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır.

EKLER

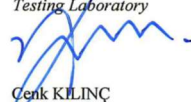
Ek A: Agrega Analiz Raporları

	TÜRKAK TÜRK AKREDİTASYON KURUMU TURKISH ACCREDITATION AGENCY tarafından akredite edilmiş <i>Türkiye Hazır Beton Birliği İktisadi İşletmesi</i> <i>Deney Laboratuvarı</i> Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsü Teknoloji Geliştirme Merkezi (Teknopark) B2 Blok No : 101 Esenler İstanbul Tel: 0 212 483 73 68 - 69 Faks: 0 212 483 73 70 web: www.thbb.org e-mail: laboratuvar@thbb.org <i>Mekanik Deney Raporu</i> Mechanical Test Report	 Test TS EN ISO/IEC 17025 AB-0767-T
		AB-0767-T
		RM900-17
		08-17

Müşterinin Adı / Adresi Customer Name / Address	: Aslan Çimento A.Ş.-Çerkeşli Ocağı Cami Mahallesi Kaplan Caddesi No:149 Darıca/Kocaeli
İstek Numarası Order No.	: BF307-17
Numunenin adı ve tanımı Name and identity of test item	: 0-4mm Agrega, 0-5mm Agrega, 5-11,2mm Agrega, 11,2-22,4mm Agrega
Numunenin kabul tarihi The date of receipt of test item	: 31.07.2017
Açıklamalar Remarks	: Sonuçlar sadece gönderilen numunelere aittir. Numuneler laboratuvarında teslim alınmıştır.
Deneyin yapıldığı tarih Date of test	: 02.08.2017-29.08.2017
Raporun Sayfa Sayısı Number of pages of the report	: 5

Türk Akreditasyon Kurumu(TÜRKAK) deney raporlarının tanınması konusunda Avrupa Akreditasyon Birliği(EA) ve Uluslararası Laboratuvar Akreditasyon Birliği (ILAC) ile karşılıklı tanıma antlaşmasını imzalamıştır. Deney ve /veya ölçüm sonuçları, genişletilmiş ölçüm belirsizlikleri (olması halinde) ve deney metodları bu sertifikanın tamamlayıcı kısmı olan takip eden sayfalarda verilmiştir .

The Turkish Accreditation Agency(TURKAK) is signatory to the multilateral agreements of the European co-operation for the Accreditation(EA) and of the International Laboratory Accreditation(ILAC) for the Mutual recognition of test reports. The test and/or measurement results, the uncertainties (if applicable) with confidence probability and test methods are given on the following pages which are part of this report.

Mühür Seal	Tarih Date	Deney Sorumlusu Person in charge of test	Mekanik Laboratuvarı Müdürü Head of the Mechanical Testing Laboratory
	29.08.2017	 Mehmet KARABABA	 Cenk KILINÇ

Bu rapor, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz.
İmzasız ve mühürlü sertifikalar geçersizdir.
This report shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Testing reports without signature and seal are not valid.

FM110/04.03.2009-00

Şekil A1.1: Mekanik deney raporu.



TÜRKİYE HAZIR BETON BİRLİĞİ
İKTİSADİ İŞLETMESİ DENEY LABORATUVARI

AB-0767-T
RM900-17
08-17

Sayfa (Page) 2 / 5

Müşteri Adı : Aslan Çimento A.Ş.-Çerkeşli Ocağı
Müşteri Adresi : Cami Mahallesi Kaplan Caddesi No:149 Darıca/Kocaeli
Numune Adı / Tarifi : 0-4mm Agrega, 0-5mm Agrega, 5-11,2mm Agrega, 11,2-22,4mm Agrega
Laboratuvar Numune Kodu : 1145A-17, 1146A-17, 1147A-17, 1148A-17
Deney Tarihi : 02.08.2017-29.08.2017

MEKANİK BİRİM ANALİZ SONUÇLARI
Mechanical Test Results

Deney Adı	Numune Tanımı	Standart	Sonuç	Kategori / Sınır Değer
Tane yoğunluğu (Yüzey kuru suya doymuş) (*)	0-4mm Agrega	TS EN 1097-6:2013	2,67 Mg/m ³	-
Tane yoğunluğu (Yüzey kuru suya doymuş) (*)	0-5mm Agrega	TS EN 1097-6:2013	2,68 Mg/m ³	-
Tane yoğunluğu (Yüzey kuru suya doymuş) (*)	5-11,2mm Agrega	TS EN 1097-6:2013	2,70 Mg/m ³	-
Tane yoğunluğu (Yüzey kuru suya doymuş) (*)	11,2-22,4mm Agrega	TS EN 1097-6:2013	2,71 Mg/m ³	-
Su emme oranı (*)	0-4mm Agrega	TS EN 1097-6:2013	% 1,5	-
Su emme oranı (*)	0-5mm Agrega	TS EN 1097-6:2013	% 0,9	-
Su emme oranı (*)	5-11,2mm Agrega	TS EN 1097-6:2013	% 0,3	-
Su emme oranı (*)	11,2-22,4mm Agrega	TS EN 1097-6:2013	% 0,2	-
Yassılık endeksi(*)	5-11,2mm Agrega	TS EN 933-3:2012	% 8,0	FI ₁₅
Yassılık endeksi(*)	11,2-22,4mm Agrega	TS EN 933-3:2012	% 7,0	FI ₁₅
İri agregaların parçalanmaya karşı direnci –Los Angeles (*)	5-11,2mm Agrega ve 11,2-22,4mm Agrega	TS EN 1097-2:2010	% 21,0 ¹	LA ₂₅
Çok ince malzeme muhtevası(0,063mm geçen) (*)	0-4mm Agrega	TS EN 933-1:2012	% 13,1	f ₁₆
Çok ince malzeme muhtevası(0,063mm geçen) (*)	0-5mm Agrega	TS EN 933-1:2012	% 11,1	f ₁₆

¹ Deney 10-14mm aralığında agrega numunesine yapılmıştır.

(*) işaretli deneyler akreditasyon kapsamındadır.

Notlar

-

Deney sonuçlarına TS 706 EN 12620 A1 : 2009 standardına göre kategori ve sınır değerler belirtilmiştir.

Deneyleri Yapan : Mehmet Karababa

FM110-1/21.10.2015-01 -- F01/01.01.2008-00



Şekil A1.2: Mekanik birim analiz sonuçları.



TÜRKİYE HAZIR BETON BİRLİĞİ
İKTİSADİ İŞLETMESİ DENEY LABORATUVARI

AB-0767-T

RM900-17

08-17

Sayfa (Page) 3 / 5

Müşteri Adı : Aslan Çimento A.Ş.-Çerkeşli Ocağı
Müşteri Adresi : Cami Mahallesi Kaplan Caddesi No:149 Darıca/Kocaeli
Numune Adı / Tarifi : 0-4mm Agrega, 0-5mm Agrega, 5-11,2mm Agrega, 11,2-22,4mm Agrega
Laboratuvar Numune Kodu : 1145A-17, 1146A-17, 1147A-17, 1148A-17
Deney Tarihi : 02.08.2017-29.08.2017

KUM EŞDEĞERİ (*)
İlgili Standard

: TS EN 933-8:2012

0-4mm Agrega	Sonuç
1. Numune ağırlığı, M_1	601,8 gr
2. Numune ağırlığı, M_2	525,4 gr
Numune miktarı, M_T	120,3 gr
Nem içeriği, w	% 0,3
İnce malzeme, f	% 13,1
Kum eşdeğeri, SE	% 75

KUM EŞDEĞERİ (*)
İlgili Standard

: TS EN 933-8:2012

0-5mm Agrega	Sonuç
1. Numune ağırlığı, M_1	601,2 gr
2. Numune ağırlığı, M_2	533,3 gr
Numune miktarı, M_T	120,2 gr
Nem içeriği, w	% 0,2
İnce malzeme, f	% 11,1
Kum eşdeğeri, SE	% 70

GEVŞEK YIĞIN YOĞUNLUĞU (*)

İlgili Standard : TS EN 1097-3:1999

Numune Tanımı	Gevşek Yığın Yoğunluğu, Mg/m^3			
	I.Deney	II.Deney	III.Deney	Ortalama
0-4mm Agrega	1,58	1,59	1,59	1,59
0-5mm Agrega	1,57	1,56	1,56	1,56
5-11,2mm Agrega	1,44	1,44	1,44	1,44
11,2-22,4mm Agrega	1,41	1,41	1,41	1,41

Notlar

-

Deneyleri Yapan : Mehmet Karababa

FM110-1/21.10.2015-01 -- F01/01.01.2008-00



Şekil A1.3: Gevşek yığın yoğunluğu sonuçları.



TÜRKİYE HAZIR BETON BİRLİĞİ
İKTİSADİ İŞLETMESİ DENEY LABORATUVARI

AB-0767-T

RM900-17

08-17

Sayfa (Page) 4 / 5

Müşteri Adı : Aslan Çimento A.Ş.-Çerkeşli Ocağı
Müşteri Adresi : Cami Mahallesi Kaplan Caddesi No:149 Darıca/Kocaeli
Numune Adı / Tarifi : 0-4mm Agrega, 0-5mm Agrega, 5-11,2mm Agrega, 11,2-22,4mm Agrega
Laboratuvar Numune Kodu : 1145A-17, 1146A-17, 1147A-17, 1148A-17
Deney Tarihi : 02.08.2017-29.08.2017

TANE BOYUTU DAĞILIMI (*)

İlgili Standard : TS EN 933-1:2012

Analiz Yöntemi	Elekt Göz Açıklığı (mm) Numune	Elekt Analizi (% Geçen)											
		31,5	22,4	16	11,2	8	5,6	4	2	1	0,500	0,250	0,125
Yaş eleme	0-4mm Agrega	100	100	100	100	100	100	100	93	59	37	24	16
Yaş eleme	0-5mm Agrega	100	100	100	100	100	100	99	76	49	30	19	14
Kuru eleme	5-11,2mm Agrega	100	100	100	100	67	25	3	0	0	0	0	0
Kuru eleme	11,2-22,4mm Agrega	100	100	47	3	0	0	0	0	0	0	0	0

KURUMA ÇEKMESİ TAYİNİ

İlgili Standard : TS EN 1367-4:2009

Numune Tanımı : 0-5mm Agrega, 5-11,2mm Agrega, 11,2-22,4mm Agrega

Numune No	Kuruma Çekmesi (%)
1	0,025
2	0,027
3	0,026
Ort	0,026

(*) işaretli deneyler akreditasyon kapsamındadır.

Notlar

-

Deneyleri Yapan : Mehmet Karababa

FM110-1/21.10.2015-01 -- F01/01.01.2008-00



Şekil A1.4: Tane Boyutu dağılımı.



TÜRKİYE HAZIR BETON BİRLİĞİ
İKTİSADİ İŞLETMESİ DENEY LABORATUVARI

AB-0767-T

RM900-17

08-17

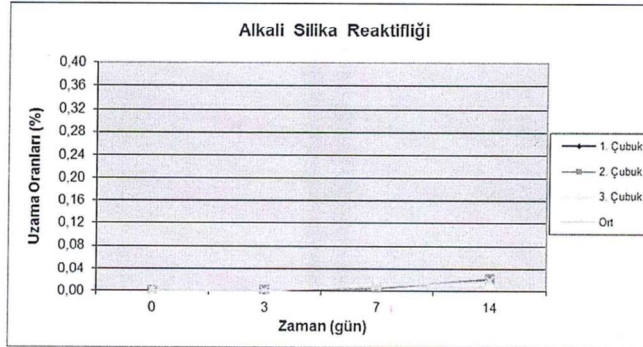
Sayfa (Page) 5 / 5

Müşteri Adı : Aslan Çimento A.Ş.-Çerkeşli Ocağı
Müşteri Adresi : Cami Mahallesi Kaplan Caddesi No:149 Darıca/Kocaeli
Numune Adı / Tarifi : 0-4mm Agrega, 0-5mm Agrega, 5-11,2mm Agrega, 11,2-22,4mm Agrega
Laboratuvar Numune Kodu : 1145A-17, 1146A-17, 1147A-17, 1148A-17
Deney Tarihi : 02.08.2017-29.08.2017

ALKALİ SİLİKA REAKTİFLİĞİ (*)

İlgili Standard : ASTM C 1260-14
Numune Tanımı : 0-4mm Agrega
Çimento Alkali Miktarı : % 0,55
Su/Çimento : 0,47
Çimento : CEM I 42,5R
Agrega : 4,75mm ile 150 µm arası

Zaman (Gün)	1.Çubuk Uzama Oranı (%)	2.Çubuk Uzama Oranı (%)	3.Çubuk Uzama Oranı (%)	Ortalama Uzama Oranı (%)
3 (*)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
7 (*)	0,01	0,01	0,01	0,01
14 (*)	0,02	0,02	0,01	0,02



Ortalama Uzama Oranı <%0,10 Alkali silika reaktifliği yönünden tehlikesiz agregalar
0,10< Ortalama Uzama Oranı<0,20 Potansiyel tehlike arz edebilir agregalar
Ortalama Uzama Oranı>0,20 Tehlikeli agregalar

(*) işaretli deneyler akreditasyon kapsamındadır.

Notlar

-

Deneyleri Yapan : Mehmet Karababa

FM110-1/21.10.2015-01 -- F01/01.01.2008-00



Şekil A1.5: Alkali silika reaktifliği.

Ek B: Çimento Analiz Raporu

nuh çimento sanayi a.ş. Kalite Kontrol Laboratuvarı 41 800 Hereke / Kocaeli Tel : 0 - 262 - 511 39 75 (19 hat) Fax : 0 - 262 - 511 39 94 E.mail : sinem.kara@nuhcimento.com.tr		 Tarih : 28/02/2018																																					
KALİTE SERTİFİKASI																																							
Numune cinsi : PORTLAND ÇİMENTO Standardı : TS EN 197-1 CEM I 42.5R Alınış Tarihi : 24.02.2018																																							
Kimyasal Analiz Sonuçları(*) <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>SiO₂</td><td>19,50</td></tr> <tr><td>Al₂O₃</td><td>4,23</td></tr> <tr><td>Fe₂O₃</td><td>3,72</td></tr> <tr><td>CaO</td><td>63,93</td></tr> <tr><td>MgO</td><td>1,63</td></tr> <tr><td>SO₃</td><td>2,85</td></tr> <tr><td>Çözünmeyen Kalıntı</td><td>0,28</td></tr> <tr><td>Kızdırma Kaybı</td><td>2,69</td></tr> <tr><td>Serbest Kireç</td><td>1,51</td></tr> <tr><td>Toplam Alkali</td><td>0,53</td></tr> <tr><td>Na₂O + 0,658 K₂O</td><td></td></tr> <tr><td>Klorür</td><td>0,0058</td></tr> </tbody> </table>			%	SiO ₂	19,50	Al ₂ O ₃	4,23	Fe ₂ O ₃	3,72	CaO	63,93	MgO	1,63	SO ₃	2,85	Çözünmeyen Kalıntı	0,28	Kızdırma Kaybı	2,69	Serbest Kireç	1,51	Toplam Alkali	0,53	Na ₂ O + 0,658 K ₂ O		Klorür	0,0058	Fiziksel Analiz Sonuçları(*) <table border="1"> <tbody> <tr><td>Özgül Ağırlık (g / cm³)</td><td>3,19</td></tr> <tr><td>Kıvam (Su / Çimento, %)</td><td>28,7</td></tr> <tr> <td>Donma Süresi (Vicat, dakika)</td> <td>Başlangıç Son</td> </tr> <tr> <td></td> <td>149 197</td> </tr> <tr> <td>Hacim Sabitliği (Le Chatelier, mm)</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>		Özgül Ağırlık (g / cm ³)	3,19	Kıvam (Su / Çimento, %)	28,7	Donma Süresi (Vicat, dakika)	Başlangıç Son		149 197	Hacim Sabitliği (Le Chatelier, mm)	1
	%																																						
SiO ₂	19,50																																						
Al ₂ O ₃	4,23																																						
Fe ₂ O ₃	3,72																																						
CaO	63,93																																						
MgO	1,63																																						
SO ₃	2,85																																						
Çözünmeyen Kalıntı	0,28																																						
Kızdırma Kaybı	2,69																																						
Serbest Kireç	1,51																																						
Toplam Alkali	0,53																																						
Na ₂ O + 0,658 K ₂ O																																							
Klorür	0,0058																																						
Özgül Ağırlık (g / cm ³)	3,19																																						
Kıvam (Su / Çimento, %)	28,7																																						
Donma Süresi (Vicat, dakika)	Başlangıç Son																																						
	149 197																																						
Hacim Sabitliği (Le Chatelier, mm)	1																																						
Modüller <table border="1"> <tbody> <tr><td>Kireç Standardı (LSF)</td><td>103,13</td></tr> <tr><td>Hidrolik Modül (H.M.)</td><td>2,33</td></tr> <tr><td>Silikat Modülü (S.M.)</td><td>2,46</td></tr> <tr><td>Ton Modülü (Al₂O₃/Fe₂O₃)</td><td>1,14</td></tr> </tbody> </table>		Kireç Standardı (LSF)	103,13	Hidrolik Modül (H.M.)	2,33	Silikat Modülü (S.M.)	2,46	Ton Modülü (Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃)	1,14	İncelik <table border="1"> <tbody> <tr><td>Özgül Yüzey (Blaine, cm² / g)</td><td>3701</td></tr> <tr><td>200 µm elek bakiye %</td><td></td></tr> <tr><td>90 µm elek bakiye %</td><td>0,1</td></tr> <tr><td>32 µm elek bakiye %</td><td>10,0</td></tr> </tbody> </table>		Özgül Yüzey (Blaine, cm ² / g)	3701	200 µm elek bakiye %		90 µm elek bakiye %	0,1	32 µm elek bakiye %	10,0																				
Kireç Standardı (LSF)	103,13																																						
Hidrolik Modül (H.M.)	2,33																																						
Silikat Modülü (S.M.)	2,46																																						
Ton Modülü (Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃)	1,14																																						
Özgül Yüzey (Blaine, cm ² / g)	3701																																						
200 µm elek bakiye %																																							
90 µm elek bakiye %	0,1																																						
32 µm elek bakiye %	10,0																																						
Minerolojik Bileşim <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>C₁S</td><td>64,09</td></tr> <tr><td>C₂S</td><td>7,57</td></tr> <tr><td>C₃A</td><td>4,90</td></tr> <tr><td>C₄AF</td><td>11,32</td></tr> </tbody> </table>			%	C ₁ S	64,09	C ₂ S	7,57	C ₃ A	4,90	C ₄ AF	11,32	Dayanım Sonuçları <table border="1"> <thead> <tr> <th>Basınç Dayanımı</th> <th>MPa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1 gün</td><td>19,6</td></tr> <tr><td>2 gün</td><td>30,2</td></tr> <tr><td>7 gün</td><td></td></tr> <tr><td>28 gün</td><td></td></tr> </tbody> </table>		Basınç Dayanımı	MPa	1 gün	19,6	2 gün	30,2	7 gün		28 gün																	
	%																																						
C ₁ S	64,09																																						
C ₂ S	7,57																																						
C ₃ A	4,90																																						
C ₄ AF	11,32																																						
Basınç Dayanımı	MPa																																						
1 gün	19,6																																						
2 gün	30,2																																						
7 gün																																							
28 gün																																							
(*) Testlerde TS EN 196-1, 2, 3, 6 uygulanmıştır. Nuh Çimento Sanayi A.Ş.'nin izni olmadan çoğaltılamaz.																																							
 1784 - CPR - 0196																																							

Şekil B1.1: Kullanılan çimentonun analiz raporu ve kalite sertifikası.

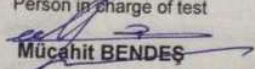
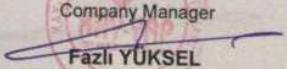
Ek C: Doğal Kum Analiz Raporu

			
KAY-YAP ANALİZ DENEY YAPI LABORATUVARI İNŞ. TAAH. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ Kayabaşı Mah.6364 Sok. No:41 Kocasinan/KAYSERİ Tel:(0352) 336 55 65 Fax:(0352) 336 55 64 www.kay-yap.com			
DeneY Raporu Test Report		AB-1004-T 19-AG-427 10-19	

4.7-METİLEN MAVİSİ DENEYİ	Agrega Sınıfı (mm)	BULUNAN (g/Kg)	
TS EN 933-9'e uygun olarak yapılan deney sonucu, Metilen Mavisi değeri (MB)	0-2	0,50	

*4.8-İNCE TANELERİN TAYİNİ- KUM EŞDEĞERİ DENEYİ	Agrega Sınıfı (mm)	BULUNAN	
Bu standart, ince agregalarda ve diğer boyut gruplarına dahil agregalarda, (0-2) mm aralığının kum eşdeğerinin tayini için bir metodu kapsar ve doğal agregalara uygulanır. (SE)	0-2	1.NUMUNE	ORT. 83,5
		82,3	
		2.NUMUNE	
		84,7	

5.5-TANE YOĞUNLUĞU VE SU EMME ORANI	Agrega Sınıfı (mm)	BULUNAN	
Gerektiğinde Tane Yoğunluğu ve su emme oranı TS EN 1097-6'ya göre tayin edilmeli ve sonuçlar istenmesi halinde tayin araçları ve kullanılan hesaplamalarla birlikte beyan edilmelidir.	0-2	Tane Yoğunluğu (Mg/m ³)	Su Emme WA 24 (%)
		qa= 2,71 qrd= 2,65 qsd= 2,67	0,36

Tarih Date 19.10.2019	DeneY Sorumlusu Person in charge of test  Mücahit BENDEŞ	Şirket Müdürü Company Manager  Fazlı YÜKSEL
-----------------------------	--	---

Bu rapor, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürlü raporlar geçersizdir.
 Bu rapor, sadece deneyi yapılan numune için geçerlidir ve "Ürün Belgesi" yerine geçmez.
 *İşaretili deneyler akreditasyon kapsamında değildir.
 This report shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Testing reports without signature and seal are not valid.
 This report only applies to the sample and made the experiment " product certificate " is not a substitute.
 * marked experiments are not included in accreditation
 FR 058 16.07.2018 Rev: 03

3/7

Şekil C1.1: Kullanılan doğal kumun analiz raporu.

Ek D: Atık Cam Tozu Analiz Raporları



AKCIHAN
Cam Geri Dönüşüm

CAM GRANÜL TEKNİK BİLGİ FORMU

Fiziksel/Kimyasal Özellikleri

Sayfa No: 1/2
Belge Kodu: Q28004
Yayın Tarihi: 05.06.2017

Cam granül ürünü minerallerden oluşan bir karışımdır.

Cam oksit CAS No: 266-046-0

Analiz sonuçları

Parametre	Değer (%)
LOI	16,18
SiO ₂	69,42
Fe ₂ O ₃	0,48
CaO	8,27
Al ₂ O ₃	1,09
MgO	4,25
Na ₂ O	12,31

Kullanım Alanları

Kullanım alanları Havuz Suyu Arıtımı, Epoksi Zemin Kaplama, Yüzey Kumlama Saniyel, Abrasiv, Beton, Boru Yataklama, Kuvvars Yüzeyler, Mermerit - Poligranit, Cam Şıva sanayileridir.

Parametre	Değer
Görünüm	Şeffaf granül
Koku	Kokusuz
Erime Noktası / Donma Noktası aralığı (t)	720
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	2,58
Yığın Yoğunluk (g/cm ³)	1,56
Tane boyutu	500 – 1000 mikron
Alevlenirlik özelliği	Ürün kendiliğinden alevlenmez.
Patlayıcılık Özellikler	Patlayıcı özellik göstermez
Oksitleyici Özellikler	Oksitleyici özellik göstermez
Su absorpsiyonu	0,02

Şekil D1.1: Kullanılan atık cam tozunun fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Depolama Özellikleri

Serin ve kuru bir yerde oda sıcaklığında depolanmalıdır.

Maddelerin bulunduğu depo düzenli olarak temizlenmeli ve iyi bir şekilde havalandırılmalıdır.

Ambalaj Bilgisi

25kg laminasyonlu çuvallarda 80*120 euro palette

1000 - 1500 kg şeritli ve streçli veya bigbag içerisinde 1000-1500kg

Diğer Bilgiler

Detaylı zararlılık sınıfları, taşımacılık, depolama ve elleçleme hakkında bilgiler için ürüne ait güvenlik bilgi formuna bakınız.

Üretici Firma Bilgileri

Firma Adı

AKCIHAN MADENCİLİK

Adresi

Habibler Mah. Eski Edirne Asfaltı No:874 1A
Sultangazi/İstanbul

Telefon

+90 (212) 595 00 17

Fax

+90 (212) 595 07 77

Güvenlik Bilgi Formu Hakkında

Bilgi Veren E-posta adresi

info@camkumu.com

Şekil D1.2: Kullanılan atık cam tozuna ait diğer bilgiler.



İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
Mühendislik Fakültesi
Kimya Mühendisliği Bölümü



Sayı: B.30.2.İST.0.17.81.00/693 /

26.10.2015

ANALİZ TEST RAPORU

Rapor İsteyen Kuruluş : AKCIHAN MADENCİLİK

Adres : Habibler M., Edirne Asf., No: 8701/B, Sultangazi /
İSTANBUL
Tel: 0212 595 0017, Faks: 0212 595 0777

İstenilen Test : Cam tozu analizi

Test Yöntemi : Teslim alınan malzemeden numuneler alınarak yoğunluk,
nem absorpsiyonu ve tane boyutu analizi tespit edildi

Test Tarihi : 09.09.2015

Test Cihazları : 0.1 mg hassasiyete sahip VA304 Model GEC (Avery,
İngiltere) marka terazi, elekler

Test Sonucu :

Şekil D1.3: Kullanılan atık cam tozunun analiz test raporu.



Sayı: B.30.2.İST.0.17.81.00/693 /

26.10.2015

Özgül ağırlığı : 2,58 gr/cm³
Yığın yoğunluğu : 1,56 gr/cm³
Erime derecesi : 720 °C
Su absorpsiyonu : 0,02
Tane boyutu : <0,125 (120 mesh altı)

Alınan numunelerin elek analizi sonucu Resim 1'de verilmektedir.



Resim 1: Cam tozu numunesi (<50 µm: 72,8278 gr, 50-63 µm: 9,5806 gr, 63-77 µm: 4,5164 gr, 77-100 µm: 10,368 gr, 100-125 µm: 6,5398 gr).

Şekil D1.4: Kullanılan atık cam tozunun elek analizi.